



CAPÍTULO 5: DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

CAPÍTULO 5. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

ÍNDICE CAPÍTULO 5

5.1. INTRODUCCIÓN.....	5-3
5.2. ACTIVIDADES DE CAMPO.....	5-3
5.2.1. Explotación de la sección de control y almacenamiento de la información.....	5-3
5.2.2. Recopilación de información sobre la cuenca urbana y su red de saneamiento y drenaje.	5-5
5.3. TRABAJO DE GABINETE.....	5-6
5.3.1. Comportamiento hidráulico de la cuenca	5-6
5.3.2. Desarrollo de la campaña de tiempo de lluvia.....	5-9
5.3.3. Análisis y presentación de los resultados.....	5-12
5.3.4. Modelización numérica de la cuenca	5-12
5.4. TRABAJO DE LABORATORIO	5-12
5.4.1. Recepción de las muestras y determinaciones analíticas	5-12
5.4.2. Ensayos de tratabilidad.....	5-16

CAPÍTULO 5. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

5.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen los trabajos realizados durante el desarrollo de la metodología descrita en el capítulo anterior. Se clasifican en tres tipos:

Actividades de campo: son las realizadas en la sección de control para su correcta explotación y mantenimiento, con el objetivo de obtener el máximo rendimiento de la instrumentación instalada.

Trabajo de gabinete: en el que se toman decisiones para elegir la mejor estrategia para la realización de un estudio óptimo de la cuenca en función de los medios disponibles; de este modo se consigue una gestión de la sección de control lo más eficiente posible. Se analiza la información obtenida en campo, se parametrizan los sucesos de lluvia, se tratan estadísticamente los datos, se comparan con otras cuencas estudiadas y se elaboran los modelos numéricos.

Trabajo de laboratorio: se describen las tareas realizadas en los laboratorios de los "Servicios de Apoyo á Investigación" (SAI) de la UdC y en el de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (LISA).

5.2. ACTIVIDADES DE CAMPO

5.2.1. Explotación de la sección de control y almacenamiento de la información

La explotación de la sección de control de la cuenca comenzó el día 20 de junio de 2008 y tuvo una duración superior a los 14 meses, llegó hasta el 24 de agosto de 2009. En este período se obtuvieron los registros de calado, velocidad y caudal del colector instrumentado y se realizaron actividades de muestreo y análisis de la cuenca que pueden clasificarse en 2 partes: campaña de tiempo seco y campaña de tiempo de lluvia.

Para la realización de la campaña de muestreo de tiempo seco se seleccionaron 6 días en los que los intervalos horarios de muestreo fueron variables en función del volumen de muestra necesario para la realización de las determinaciones analíticas de los parámetros de contaminación propuestos en cada caso. De este modo, los 2 primeros días (22 y 23 de septiembre de 2008) en los cuales se analizó tan solo el grupo de contaminantes denominado "parámetros básicos", los intervalos de toma de muestra fueron cada 2 horas (12 muestras diarias). Sin embargo en los días seleccionados para la determinación de la batería de analíticas completa, los intervalos de muestreo fueron cada 3 horas (días 28 y 30 de septiembre 2008) (8 muestras diarias) y cada 4 horas (días 29 y 30 de julio de 2009) (6 muestras diarias).

El volumen de muestra necesario para la determinación de los "parámetros básicos" es de aproximadamente 1L. No obstante, si se desea realizar la batería completa de analíticas propuesta en esta tesis, el volumen necesario por muestra se eleva a los 3L. El rango de volumen de cada muestra puntual en la campaña de tiempo seco osciló entre 1 y 3 L en función del número de parámetros a analizar en cada caso.

La campaña de muestreo de hidrogramas en tiempo de lluvia comenzó a principios de octubre de 2008 y tuvo una duración aproximada de 11 meses, cerrándose la campaña a finales de agosto de 2009. El número de sucesos de lluvia muestreados ha sido de 10, realizados en las siguientes fechas:

Tabla 5-1. Fecha de los sucesos de lluvia muestreados.

Nº SUCESO	FECHA	CÓDIGO
SUC_1	06/10/2008	SUC_061008
SUC_2	21/10/2008	SUC_211008
SUC_3	12/01/2009	SUC_120109
SUC_4	15/04/2009	SUC_150409
SUC_5	25/04/2009	SUC_250409
SUC_6	10/05/2009	SUC_100509
SUC_7	23/05/2009	SUC_230509
SUC_8	04/06/2009	SUC_040609
SUC_9	25/06/2009	SUC_250409
SUC_10	24/08/2009	SUC_240809

La explotación y mantenimiento de la sección de control de la cuenca consistió en las siguientes tareas:

- Recambio por agotamiento de las baterías de alimentación de la instrumentación instalada:
 - El caudalímetro HACH SIGMA 950 de área-velocidad con burbujeador alimentado con una batería de 12 V de 74 Ah de capacidad posee una autonomía mínima de 7 días, por lo que la sustitución de la misma se realizaba con periodicidad semanal.
 - La batería del tomamuestras automático SIGMA 900 se reponía siempre previamente a su programación tanto para tiempo seco como para tiempo de lluvia.
 - El módulo Endol de comunicaciones por GPRS es de un consumo de energía muy bajo por lo que cada batería tenía una duración superior a los 3 meses, aunque los intervalos de reposición eran preventivos y, lógicamente, algo inferiores (en torno a los 2 meses).
- Limpieza del orificio de salida del burbujeador para la determinación del nivel de la sonda Doppler mediante la inyección de aire a presión mediante un bombín de aire convencional o una soplante cada 2-4 semanas como medida preventiva.
- Descarga de datos:
 - El caudalímetro HACH SIGMA 950 se programó para el registro de datos de nivel, velocidad y caudal a intervalos cincominutales por lo que la memoria interna disponía de una capacidad de almacenamiento de 30 días. La recogida de datos se realizaba periódicamente mediante conexión con un ordenador portátil.

- El módulo de comunicaciones Endol enviaba al servidor los registros de nivel en el colector instrumentado cada minuto por lo que podían consultarse y descargarse en cualquier momento mediante el software “Endol Cliente”.
 - Los registros pluviométricos con periodicidad diezminutal se obtenían de forma gratuita de la estación meteorológica de Santiago de Compostela (Santiago-EOAS) a través de la web de Meteogalicia (www.meteogalicia.es).
- Programación del tomamuestras automático tanto para tiempo seco como para tiempo de lluvia, en este último caso la casuística era mucho más compleja dado que era necesario tomar varias decisiones entre las que destacan el establecimiento de la señal de arranque y la determinación de los intervalos de muestreo que se comentarán más adelante en este capítulo.
 - Recogida de muestras durante las campañas de tiempo seco y tiempo de lluvia. La comprobación del arranque del programa del tomamuestras para tiempo de lluvia se realizaba mediante la consulta de nivel de agua en el colector con el programa “Endol Cliente” conectado al servidor “online”. Esto permitía la recogida de las muestras al poco tiempo de haberse muestreado el hidrograma del suceso. Para contrastar la información recibida mediante el módulo de comunicaciones, se consultaban en la web de Meteogalicia (www.meteogalicia.es) los registros pluviométricos diezminutales de la estación meteorológica de Santiago (Santiago-EOAS). De este modo se confirmaba el muestreo de un suceso de lluvia.

5.2.2. Recopilación de información sobre la cuenca urbana y su red de saneamiento y drenaje.

El inventario detallado sobre la red de saneamiento y drenaje de la cuenca urbana estudiada se obtuvo mediante reuniones con los responsables de la gestión del alcantarillado de la ciudad de Santiago (AQUAGEST). Los datos de la red recopilados fueron los siguientes:

Tabla 5-2. Datos de la red recopilados para la elaboración del SIG de la cuenca.

NODO	CONDUCTO
Nº de nodo	Nº de conducto
Tipo (fecal, pluvial o unitario)	Tipo (fecal, pluvial o unitario)
Cota solera	Nº de nodo aguas arriba
Cota tapa	Nº de nodo aguas abajo
Área	Cota fondo aguas arriba
	Cota fondo aguas abajo
	Longitud
	Forma
	Tamaño
	Material

La cartografía digital detallada con los tipos de superficies y pendientes de la cuenca urbana fue proporcionada por el Laboratorio de Estudios Territoriales (LET) de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la UdC.

De este modo, con toda la información disponible se elaboró un sistema de información geográfica (SIG) que incluía la red de saneamiento y drenaje y la cartografía de la cuenca. Esta herramienta ha sido muy útil para el análisis de la red y, sobre todo, para la introducción del SIG en el software de modelización de drenaje en cuencas urbanas *Wallingford Infoworks CS 9.0.1*.

5.3. TRABAJO DE GABINETE

5.3.1. Comportamiento hidráulico de la cuenca

Paralelamente a la explotación y mantenimiento de la sección de control, y con el objetivo de un óptimo desarrollo de las campañas de campo, era necesario el análisis de diversos factores, que se detallan a continuación, para la toma de decisiones a la hora del desempeño de las estrategias de campo.

5.3.1.1. Tiempo seco

El análisis de los hidrogramas de tiempo seco elaborados a partir de los datos registrados en el caudalímetro es muy importante para determinar el calado máximo de agua en el colector durante los períodos de tiempo seco y, de este modo, discernir en qué momento comienza un suceso de lluvia. Éste análisis es crucial para un desarrollo óptimo de las campañas en tiempo de lluvia debido a que, para el muestreo de los sucesos, el programa del tomamuestras automático arranca mediante una señal de alarma enviada desde el caudalímetro en el instante en que éste detecta un nivel de agua en el colector superior al establecido como máximo de tiempo seco. Esto implicará el muestreo completo del hidrograma en tiempo de lluvia desde su comienzo. Cabe mencionar que dicho nivel máximo de agua en tiempo seco puede ser variable según la estación del año, debido a posibles infiltraciones en la red debido al aumento del nivel freático después de períodos pluviométricos largos; esto también se ha analizado y los resultados se presentarán en el siguiente capítulo.

A continuación se presentan, a modo de ejemplo, los niveles y caudales de una semana de tiempo seco (semana del 23 al 30 de junio de 2008).

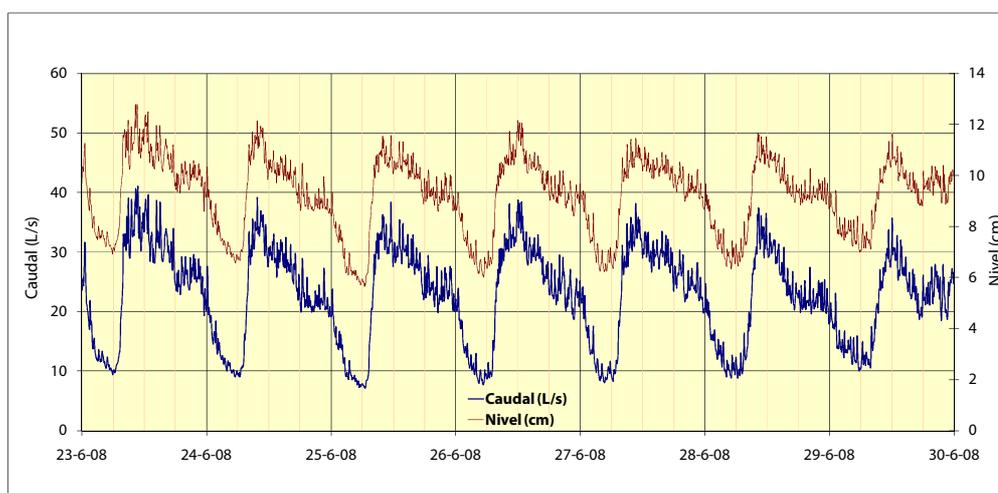
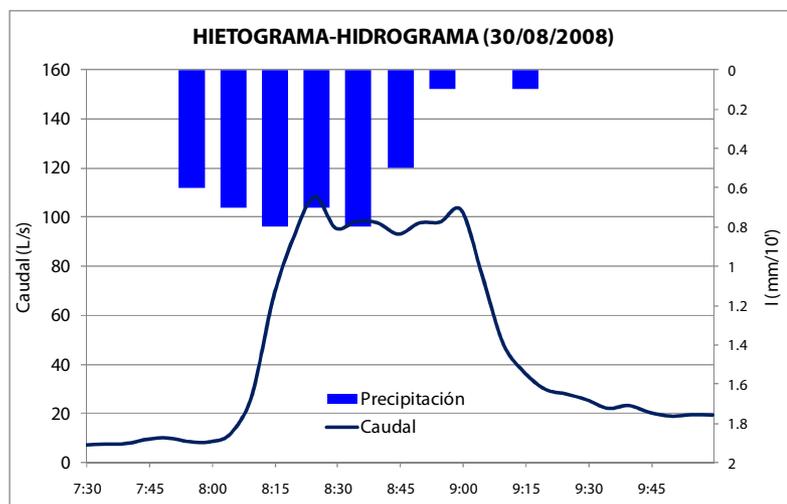
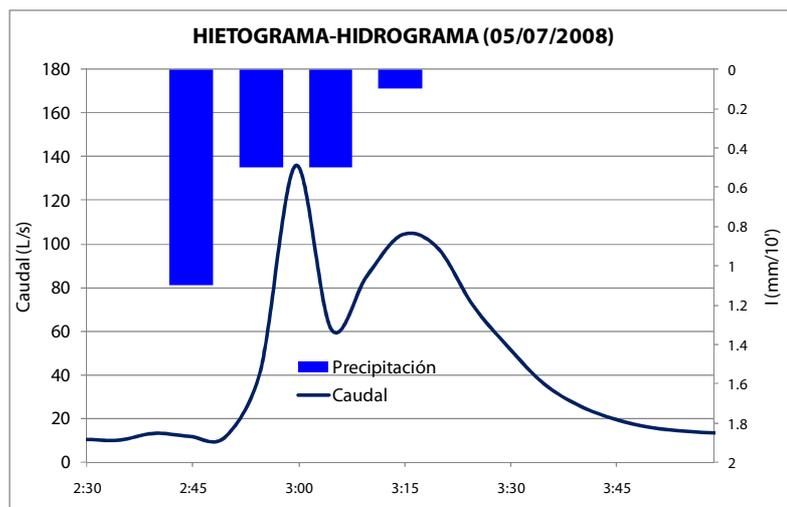
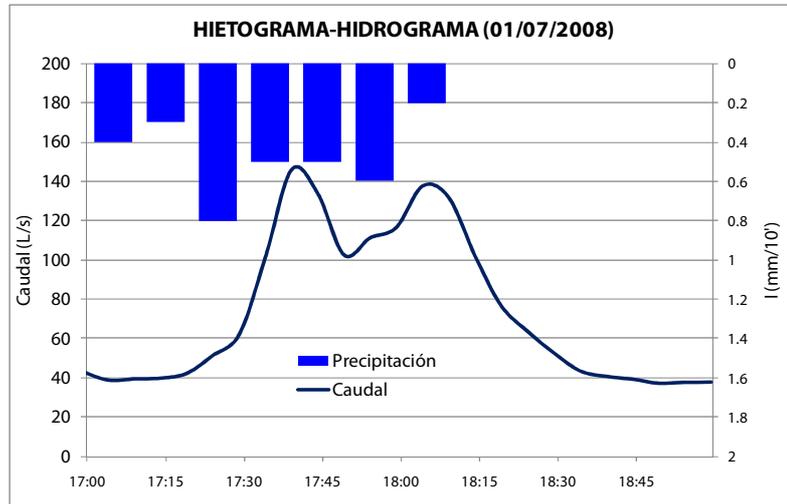


Figura 5-1. Registro de caudales y niveles en tiempo seco.

5.3.1.2. Tiempo de lluvia

El estudio del comportamiento hidrológico-hidráulico de la cuenca es un factor clave para la determinación del tiempo de concentración de la misma. Esta información es imprescindible para el establecimiento de los intervalos de muestreo de los sucesos de lluvia. A continuación se presentan varios hietogramas-hidrogramas de la cuenca analizados previamente al comienzo de la campaña en tiempo de lluvia.



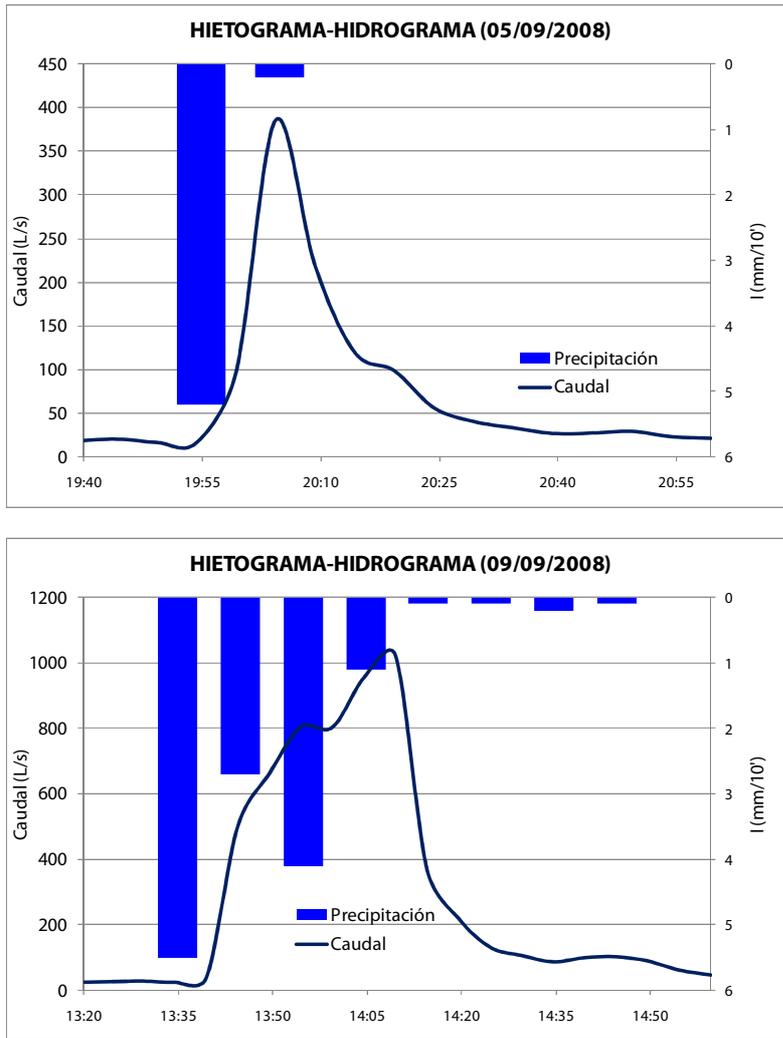


Figura 5-2. Hietogramas-hidrogramas generados en la cuenca.

Al analizar los hietogramas-hidrogramas presentados se confirma que se trata de una cuenca con un comportamiento hidrológico-hidráulico rápido con un tiempo de concentración bajo, entre 10 y 15 minutos y con hidrogramas apuntados. Este comportamiento es consecuente con la importante pendiente media de la cuenca (4.2%) con máximos superiores al 13%.

Este comportamiento de la cuenca en tiempo de lluvia permite clarificar la toma de decisiones para establecer los intervalos de muestreo de los sucesos. Por la tipología de cuenca es necesario obtener información a intervalos lo más cortos posible al comienzo de los hidrogramas. Por otro lado, el tomamuestras automático dispone de 24 botellas de 1L y para la realización de toda la batería de analíticas propuesta cabe recordar que se necesitaban al menos 3L por muestra, por lo que se disponía de la posibilidad de obtener como máximo 8 muestras por suceso. Una vez analizados todos estos factores los intervalos de toma de muestra seleccionados en tiempo de lluvia son variables y menores al principio del evento. Se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5-3. Intervalos de muestreo en la campaña de tiempo de lluvia.

Número de muestra	Intervalos (min)	Tiempo acumulado (min)
Muestra 1	Al comienzo del hidrograma	0'
Muestra 2	5'	5'
Muestra 3	5'	10'
Muestra 4	5'	15'
Muestra 5	5'	20'
Muestra 6	10'	30'
Muestra 7	10'	40'
Muestra 8	20'	60'

5.3.2. Desarrollo de la campaña de tiempo de lluvia

La lista completa de la relación de parámetros de contaminación se realizó en los primeros 3 sucesos de lluvia muestreados. En este punto se analizaron los resultados obtenidos y se hizo una criba de contaminantes cuyas concentraciones o movilización en tiempo de lluvia no eran significativas. Los parámetros seleccionados para su eliminación de la batería de analíticas de los restantes sucesos fueron: los metales *berilio* y *selenio*, los aniones (*cloruros*, *fluoruros* y *cianuros*), los *hidrocarburos totales de petróleo*, los *compuestos orgánicos volátiles (COVs)*, los *plaguicidas*, los *fenoles* y, en cuanto a los contaminantes emergentes, el *17-β-estradiol*. Por otro lado, a partir del 5º suceso se comenzaron a analizar el *paracetamol* y los antibióticos *amoxicilina*, *enrofloxacina* y *flumequina* encuadrados en el grupo de PPCPs.

El indicador de contaminación bacteriológica *Escherichia Coli* tan solo se pudo analizar en dos sucesos de lluvia (4º y 10º) debido a problemas de disponibilidad por parte de la empresa suministradora de material analítico para este parámetro.

Tabla 5-4. Parámetros básicos analizados en los sucesos de lluvia muestreados.

SUCESOS DE LLUVIA	SUC1	SUC2	SUC3	SUC4	SUC5	SUC6	SUC7	SUC8	SUC9	SUC10
Fecha	06/10/2008	21/10/2008	13/01/2009	15/04/2009	25/04/2009	10/05/2009	23/05/2009	04/06/2009	25/06/2009	24/08/2009
nº de muestras	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
PARÁMETROS BÁSICOS										
DQO										
DQO soluble										
DBO ₅										
COT										
COD										
N total										
N amoniacal										
P total										
P-PO ₄ ³⁻										
SS										
SSV										
SD										
SDV										
ST										
STV										
Turbidez										
Conductividad a 20º										
pH										
Alcalinidad										
Dureza										
CF (ufc/100 mL)										
EC (ufc/100 mL)										

color verde: analítica realizada / color rojo: analítica no realizada

Tabla 5-5. Metales, cationes y aniones analizados en los sucesos de lluvia muestreados.

SUCESOS DE LLUVIA	SUC1	SUC2	SUC3	SUC4	SUC5	SUC6	SUC7	SUC8	SUC9	SUC10
Fecha	06/10/2008	21/10/2008	13/01/2009	15/04/2009	25/04/2009	10/05/2009	23/05/2009	04/06/2009	25/06/2009	24/08/2009
nº de muestras	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
METALES, CATIONES Y ANIONES										
Hg										
Al										
Ba										
Cd										
Cr										
Co										
Cu										
Fe										
Mn										
Ni										
Pb										
Zn										
As										
Be										
B										
Mo										
Se										
Si										
V										
Na+										
K+										
Ca2+										
Mg2+										
Floururos										
Cloruros										
Cianuros										

color verde: analítica realizada / color rojo: analítica no realizada

Tabla 5-6. Sustancias prioritarias analizados en los sucesos de lluvia muestreados.

SUCESOS DE LLUVIA	SUC1	SUC2	SUC3	SUC4	SUC5	SUC6	SUC7	SUC8	SUC9	SUC10
Fecha	06/10/2008	21/10/2008	13/01/2009	15/04/2009	25/04/2009	10/05/2009	23/05/2009	04/06/2009	25/06/2009	24/08/2009
nº de muestras	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
SUSTANCIAS PRIORITARIAS										
HAPs totales										
HC totales										
COVs totales										
Plaguicidas										
Aceites y grasas										
Fenoles										

color verde: analítica realizada / color rojo: analítica no realizada

Tabla 5-7. Contaminantes emergentes (PPCPs) analizados en los sucesos de lluvia muestreados.

SUCESOS DE LLUVIA	SUC1	SUC2	SUC3	SUC4	SUC5	SUC6	SUC7	SUC8	SUC9	SUC10
Fecha	06/10/2008	21/10/2008	13/01/2009	15/04/2009	25/04/2009	10/05/2009	23/05/2009	04/06/2009	25/06/2009	24/08/2009
nº de muestras	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CONTAMIINANTES EMERGENTES ó PPCPs										
HHCB Galaxolide										
AHTN Tonalide										
17-β-estradiol										
Ibuprofeno										
Diclofenaco										
Carbamazepina										
Cafeina										
Paracetamol										
Amoxicilina										
Enrofloxacin										
Flumequina										

color verde: analítica realizada / color rojo: analítica no realizada

De este modo, a partir del 4º suceso de lluvia se dispone de cierto volumen de muestra (como se ha comentado en total se disponía de 3 L por muestra) para la realización de ensayos de tratabilidad del agua residual de tiempo de lluvia mediante proceso físico-químico que se detallarán en su apartado correspondiente.

Los resultados obtenidos en la caracterización de las muestras recogidas de cada suceso de lluvia se introdujeron en las "Fichas de suceso" que se elaboraron para la organización y tratamiento de la información. A modo de ejemplo se presenta la ficha de suceso correspondiente al segundo suceso muestreado (21/10/2008). Las fichas de todos los sucesos de lluvia recogidos se presentan en su Anejo correspondiente.



FICHA DE CARACTERIZACIÓN DEL SUCESO

Ensanche

SUCESO: SUC_211008

Hoja: 1 de 8

INFORMACIÓN GENERAL

CUENCA URBANA

Ciudad	Santiago
Cuenca	Ensanche
Sección de control	Romero Donallo
Población	13000
Tipo de red	Unitaria
Area neta (Ha)	18
Tipo de tejados	100%Tejado
Material tejados	Teja árabe
Actividades	Residencial / comerc.
Industria	Nula
Vertidos industriales	Inexistentes
Material viales:	100% aglomerado asf.

SUCESO

REFERENCIA	SUC 211008
Año	2008
Mes	OCTUBRE
DD/HH de comienzo del HIDROGRAMA	21-10-08 7:55
DD/HH de finalización del HIDROGRAMA	21-10-08 18:30
Tipo de muestras	SIMPLES
DD/HH comienzo del MUESTREO	21-10-08 8:00
DD/HH finalización del MUESTREO	21-10-08 9:15
Número de botellas de 1 L recogidas	24
Número de muestras en el suceso	8
Número de botellas de 1 L por muestra	3
DD/HH comienzo del BALANCE DE MASAS	21-10-08 8:00
DD/HH finalización del BALANCE DE MASAS	21-10-08 9:15

LLUVIAS

Duración del tiempo seco precedente	4,83 días
Precipitación total (mm)	9.7
DD/HH de inicio	21-10-08 7:40
DD/HH de fin	21-10-08 9:10
Duración	1:30
Intensidad media de suceso (mm/h)	6.47
Intensidad 10minutal máxima (mm/h)	12.6
Máxima precipitación en 10 minutos	2.1

SECUENCIA DEL MUESTREO

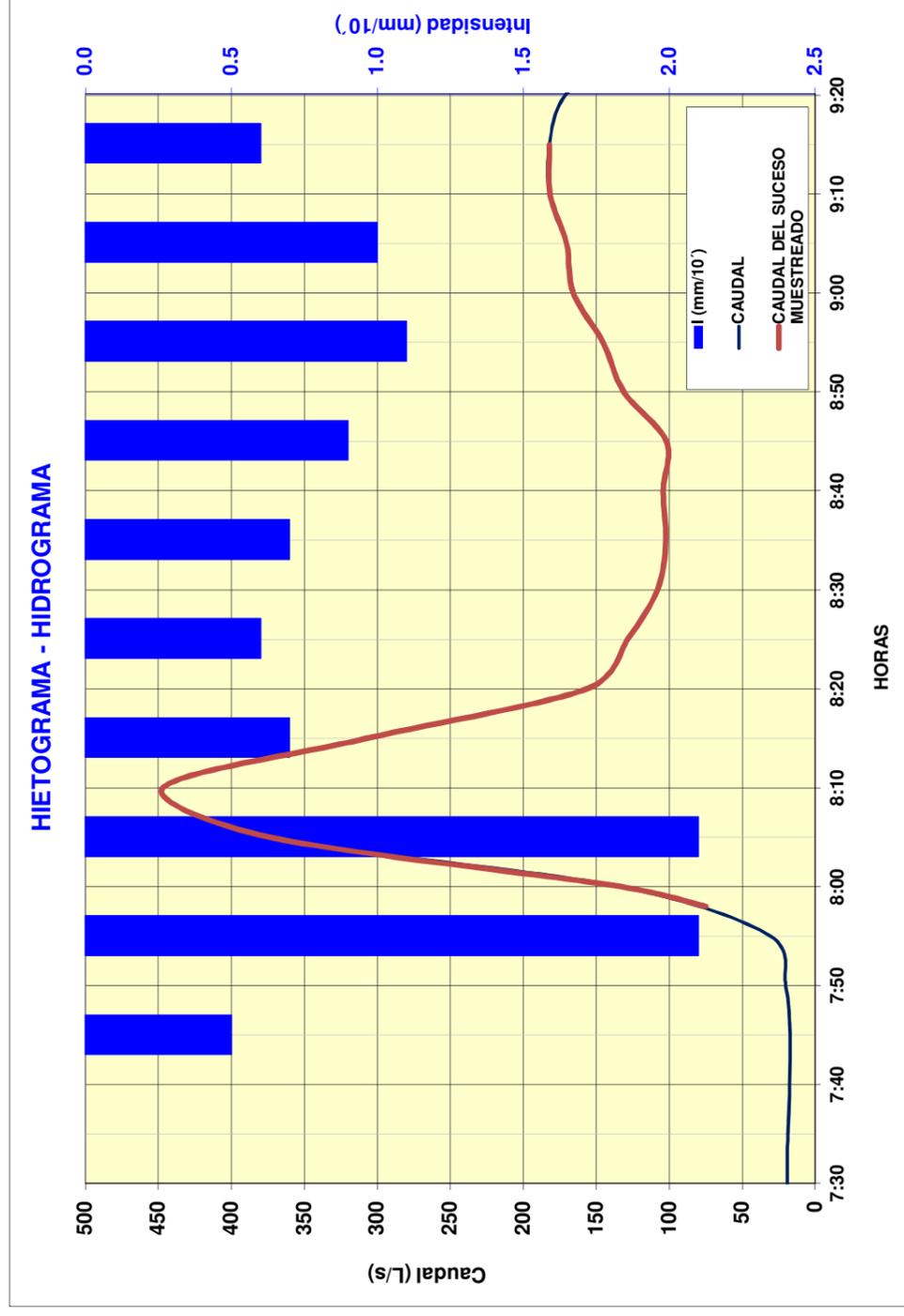
Muestra	Intervalo	Tiempo total
Muestra 1	Inicio	0'
Muestra 2	5'	5'
Muestra 3	5'	10'
Muestra 4	5'	15'
Muestra 5	5'	20'
Muestra 6	10'	30'
Muestra 7	10'	40'
Muestra 8	20'	60'
Muestra 9	--	--
Muestra 10	--	--
Muestra 11	--	--
Muestra 12	--	--

NOTAS / INCIDENCIAS

Suceso de gran intensidad
Claro ejemplo de "first flush"

LLUVIA-CAUDAL EN EL ENTORNO DEL SUCESO

HIETOGRAMA - HIDROGRAMA



CAUDALES DEL SUCESO MUESTREADO (L/s)

MINIMO	102.1
MAXIMO	446.8
MEDIO	183.8
COEF. PUNTA (Cmax/Cmin)	4.4

VOLUMENES (m³)

TOTAL DEL SUCESO	784.3
ASIGNADO A TIEMPO SECO	111.2
ASIGNADO A ESCORRENTIA	673.0
% ESCORRENTIA/ TOTAL	85.8

LISTA DE CHEQUEO

Parámetros básicos	Metales, aniones y cationes	Sustancias prioritarias	Microcontaminantes	Bacteriología
DOO	Al	Fenoles	HHCB (Galaxalide)	E. coli
DOO soluble	As	HAPs	AHTN (Tonalde)	Enterococos fecales
DBO ₅	Ba	COVs	17-β-estradiol	Nematodos intestinales
COT	Be	Plaguicidas	Ibuprofeno	Legionella spp
COD	B	H-C	Diclofenaco	Taenia saginata
N total	Ca ²⁺	Aceites y grasas	Carbamazepina	Taenia solium
N-NH ₄ ⁺	Cd		Cafeína	Coliformes fecales
P total	Co		Amoxicilina	
P-PO ₄ ³⁻	Cr		Paracetamol	
SSV	Cu		Flumequina	
SD	Fe		Enrofloxacin	
SDV	Hg			
ST	K ⁺			
Turbidez	Mg ²⁺			
Conductividad	Mn			
pH	Mo			
Alcalinidad	Na ⁺			
Dureza	Ni			
	Pb			
	Si			
	Se			
	V			
	Zn			
	F			
	Cl ⁻			
	CN ⁻			

SI ANALIZADOS



FICHA DE CARACTERIZACIÓN DEL SUCESO

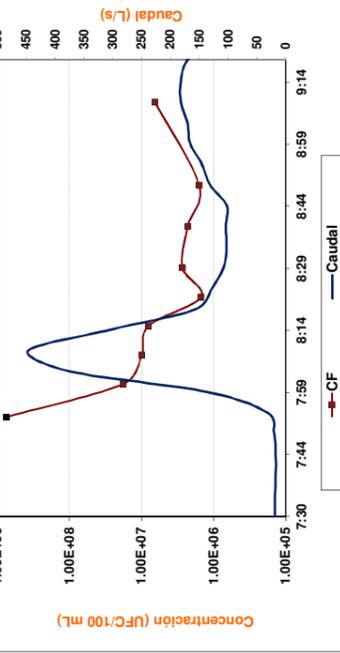
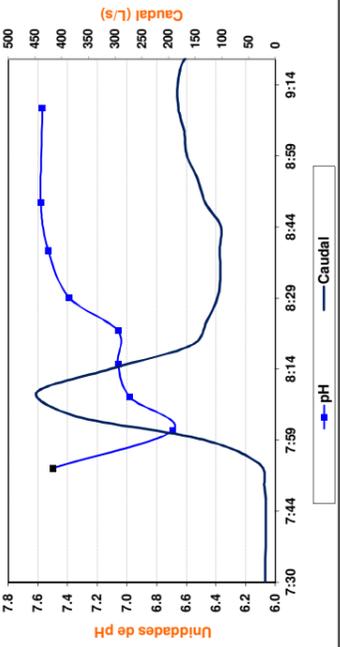
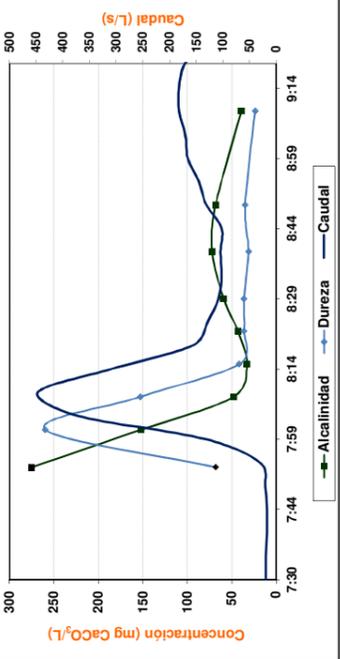
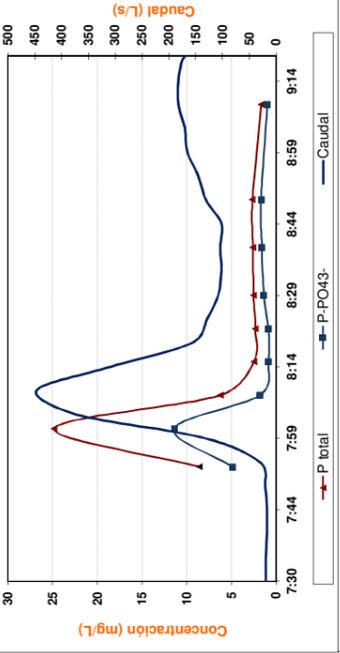
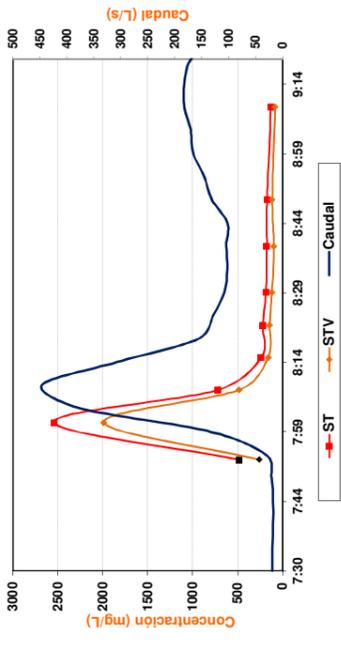
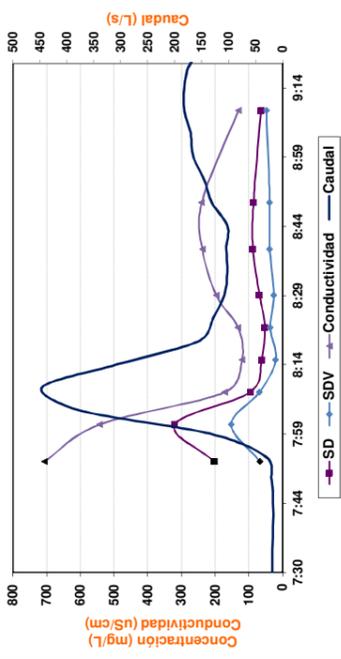
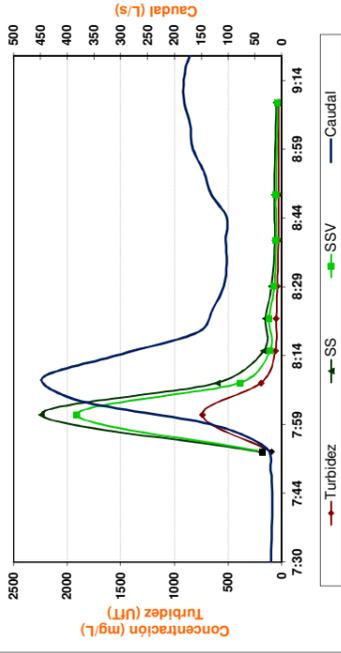
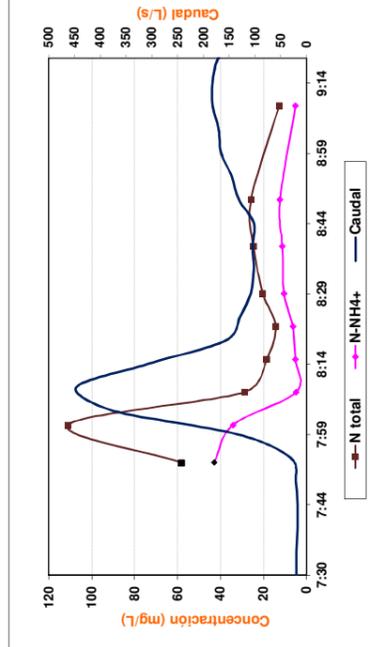
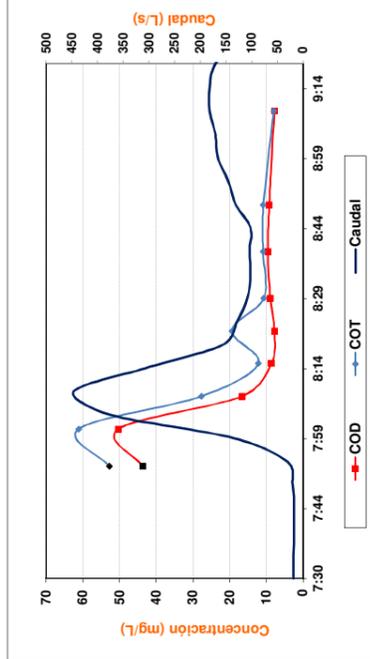
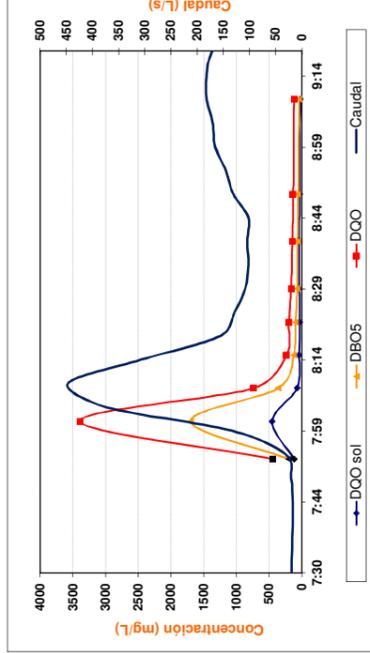
Ensanche

SUCESO:

SUC_211008

Hoja: 2 de 8

POLITOGRAMAS - PARÁMETROS BÁSICOS



PARAMETRIZACIÓN DEL SUCESO

	[] MAX mg/L	[] MIN mg/L	[] MED mg/L	CMS mg/L
DOO soluble	3388	119	640	536
DOO	452	27	92	76
DBO ₅	1700	42	314	260
COT	61.1	8.0	20.1	17.9
COD	50.3	7.8	14.9	13.6
N total	111.0	12.7	32.0	28.3
N-NH ₄ ⁺	34.2	4.8	11.2	9.6
P total	24.8	1.7	5.7	4.9
P-PO ₄ ³⁻	11.4	0.9	2.6	2.2
SS	2240	49	429	362
SSV	1908	38	341	280
SD	320	52	105	97
SDV	152	20	53	53
ST	2542	128	547	472
STV	1986	82	397	338
Turbidez (UFT)	740	27	146	124
Cond. (µS/cm)	543.0	120.0	221.5	
pH	7.6	6.7	7.2	
Alcalinidad	152.0	33.0	64.3	58
Dureza	259.8	23.7	77.0	72
CF (ufc/100 mL)	1.8E+07	1.5E+06	6.3E+06	6.7E+06

	REGIST. Kg	T. SECO Kg	ESCORR. Kg	M.asec / M.tot (%)
DOO soluble	420.2	49.8	370.3	88.1
DOO	60.0	12.9	47.1	78.5
DBO ₅	204.1	22.7	181.4	88.9
COT	14.1	5.9	8.2	58.3
COD	10.6	4.9	5.8	54.3
N total	22.2	6.5	15.7	70.9
N-NH ₄ ⁺	7.5	4.8	2.7	36.2
P total	3.8	1.0	2.9	75.0
P-PO ₄ ³⁻	1.7	0.5	1.2	68.4
SS	283.6	21.9	261.7	92.3
SSV	219.4	19.7	199.6	91.0
SD	75.7	22.5	53.2	70.3
SDV	41.5	7.5	34.1	82.1
ST	370.1	53.6	316.5	85.5
STV	282.1	28.7	253.4	89.8
Turbidez	45.7	30.6	15.1	33.0
Dureza	56.7	7.6	49.2	86.7

	20.57	14.54
DOO sol	2.62	SSV
DBO ₅	10.08	SD
COT	0.46	SDV
COD	0.32	ST
N total	0.87	STV
N-NH ₄ ⁺	0.15	Alcalinidad
P total	0.16	Dureza
P-PO ₄ ³⁻	0.07	2.73

	766.8	100.8	509.4
DOO sol	100.8	SSV	
DBO ₅	385.2	SD	
COT	12.7	SDV	
COD	10.4	ST	
N total	24.0	STV	
N-NH ₄ ⁺	6.8	Alcalinidad	
P total	5.5	Dureza	
P-PO ₄ ³⁻	2.5	66.6	

FLUJOS MÁXIMOS MÁXIMOS ASIGNADO A ESCORRENTÍA (g/s)



FICHA DE CARACTERIZACIÓN DEL SUCESO

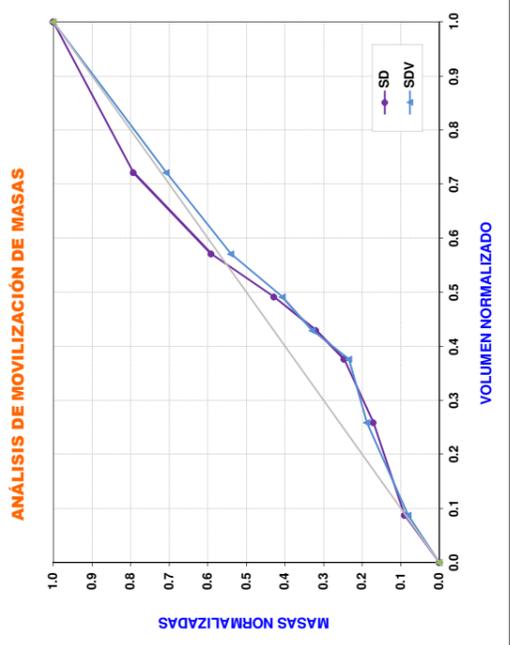
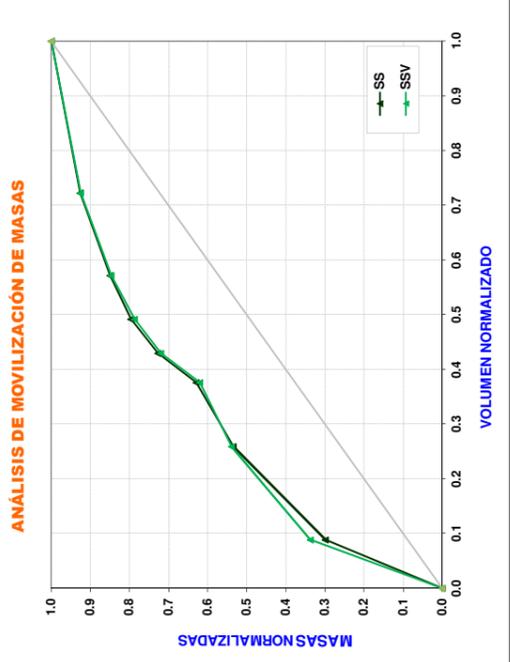
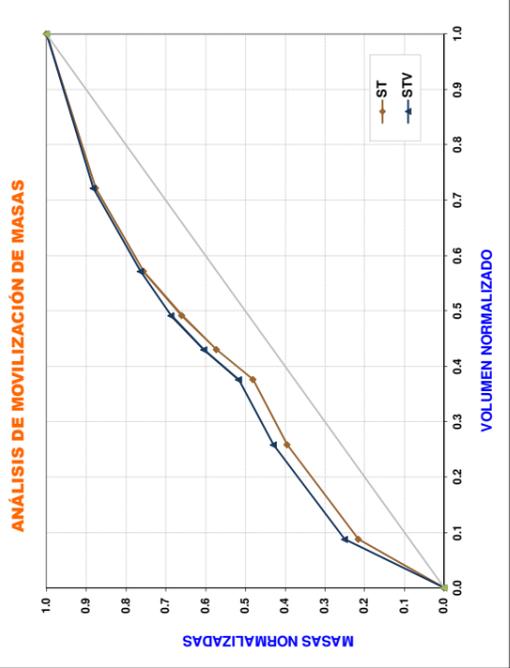
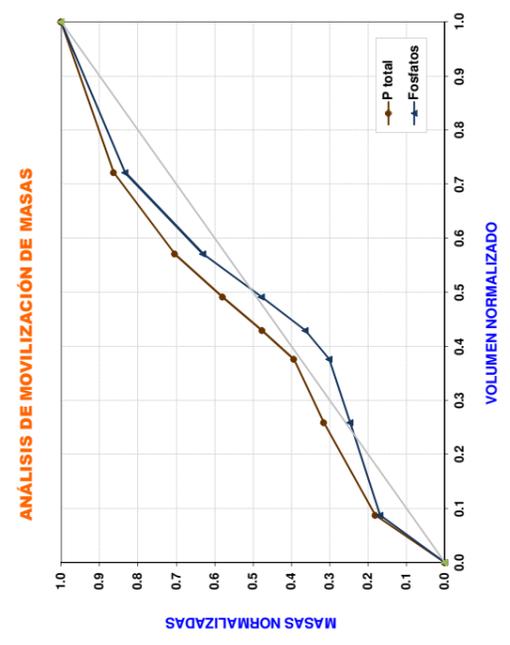
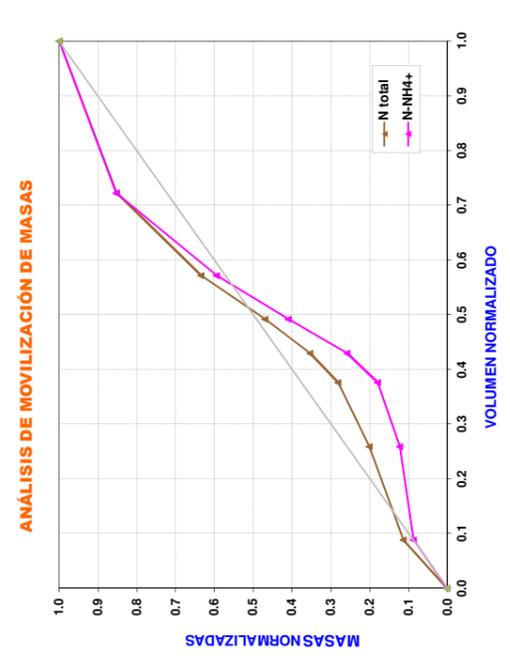
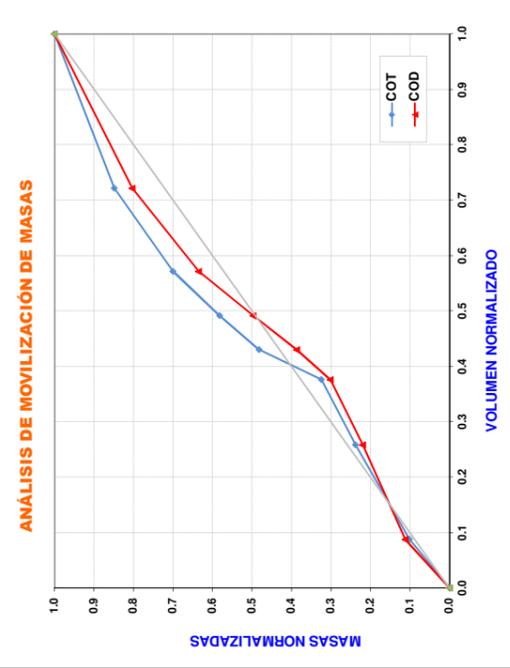
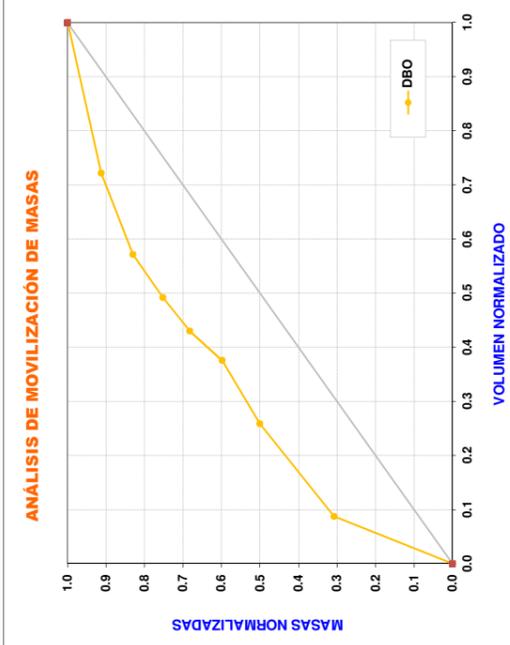
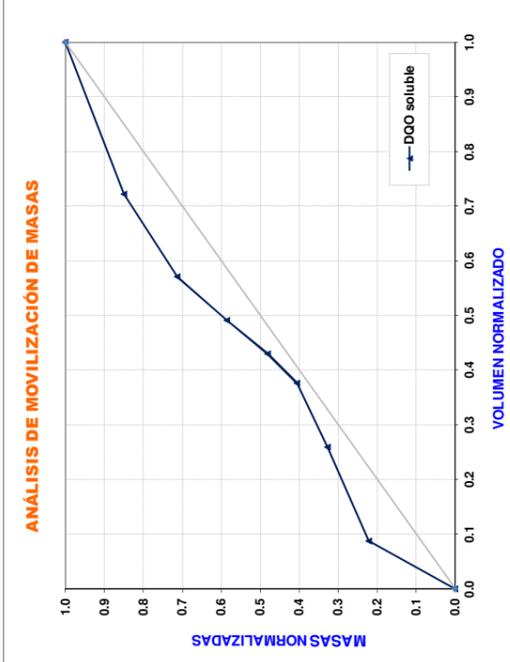
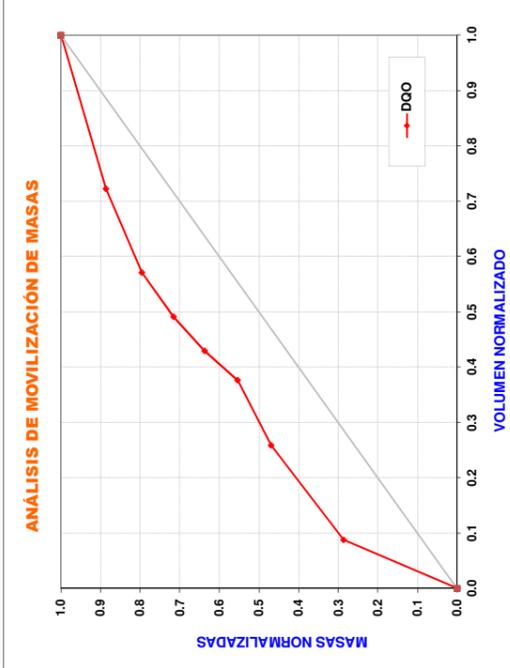
Ensanche

SUCESO: SUC_211008

Hoja: 3 de 8

ANÁLISIS DE MOVILIZACIÓN DE MASAS - PARÁMETROS BÁSICOS

COEFICIENTES DE FORMA. $Y=X^b$



DOO	0.52	P-PO ₄ ³⁻	1.00
DOO soluble	0.76	SS	0.43
DBO ₅	0.46	SSV	0.42
COT	0.88	SD	1.17
COD	1.02	SDV	1.25
N total	1.05	ST	0.64
N-NH ₄ ⁺	1.26	STV	0.58
P total	0.79		



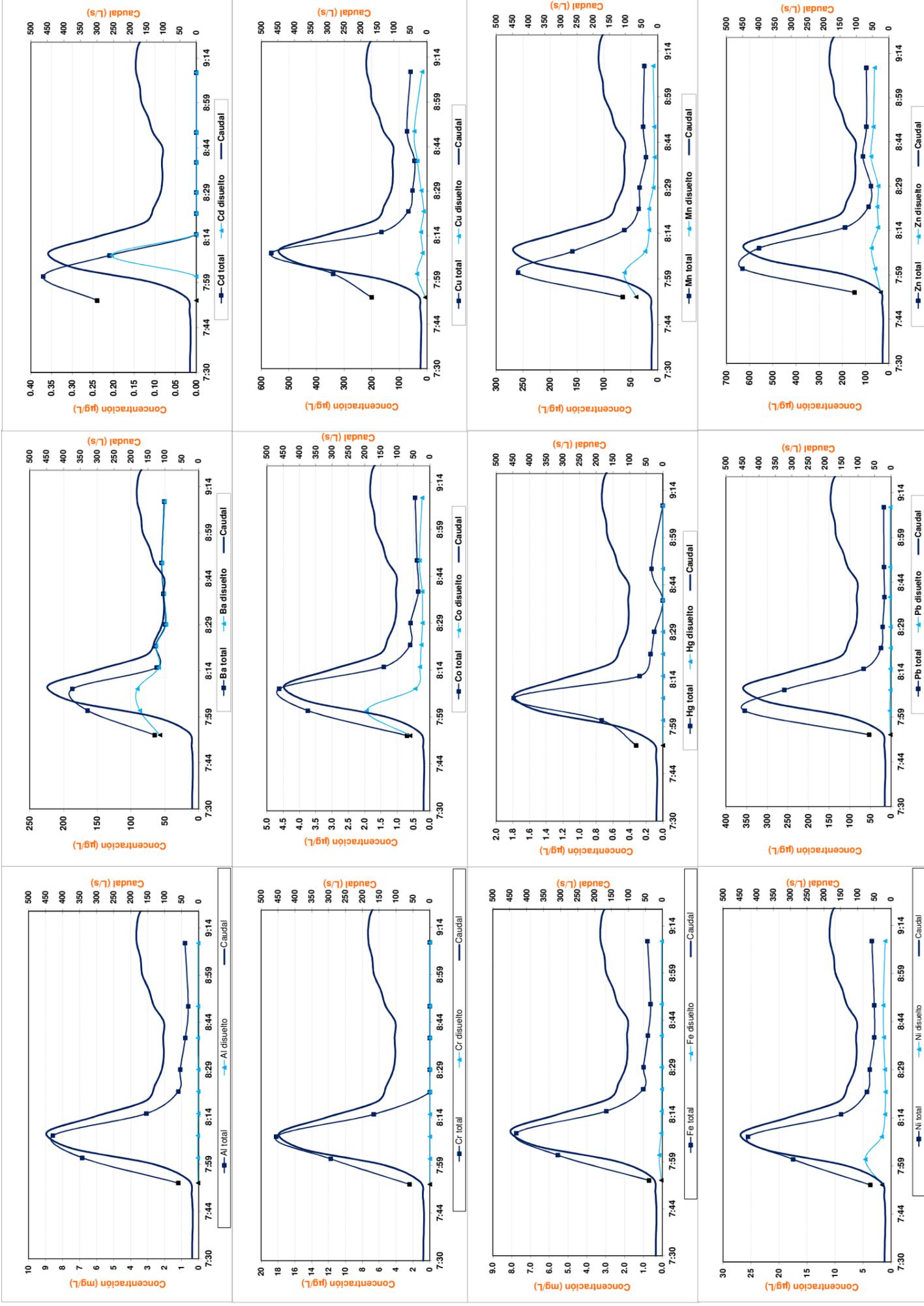
FICHA DE CARACTERIZACIÓN DEL SUCESO

Ensanche

SUCESO: SUC_211008

Hoja: 4 de 8

POLITOGRAMAS - METALES (I)



PARAMETRIZACIÓN DEL SUCESO

	[] MAX µg/L	[] MIN µg/L	[] MED µg/L	CMS µg/L
Al	8.6	0.6	2.9	2.9
Al (dis)	0.05	0.03	0.04	0.04
Ba	186.8	49.3	85.5	86.6
Ba (dis)	90.8	48.4	63.0	62.7
Cd	0.37	0.00	0.07	0.07
Cd (dis)	0.21	0.00	0.03	0.04
Cr	18.21	0.00	4.58	4.92
Cr (dis)	0.00	0.00	0.00	0.00
Co	4.62	0.35	1.52	1.56
Co (dis)	1.94	0.23	0.49	0.44
Cu	563.6	44.7	170.6	183.4
Cu (dis)	46.1	11.6	25.7	25.1
Fe	7.7	0.6	2.6	2.6
Fe (dis)	0.17	0.03	0.06	0.05
Hg	1.79	0.00	0.40	0.44
Hg (dis)	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	259.4	21.8	73.8	77.8
Mn (dis)	61.9	6.1	18.4	16.5
Ni	25.6	3.0	8.7	9.1
Ni (dis)	4.6	1.0	1.7	1.6
Pb	354.6	16.1	97.0	94.6
Pb (dis)	3.4	1.2	2.1	2.2
Zn	630.2	77.0	230.8	232.7
Zn (dis)	76.6	46.3	60.3	62.3

* unidades en µg/L

	REGIST. g	T. SECO g	ESCORR. g	M.escr. Mtot (%)
Al	2301.0	133.5	2167.5	94.2
Ba	67.9	7.2	60.7	89.4
Cd	0.1	0.0	0.0	50.2
Cr	3.9	0.3	3.6	93.1
Co	1.2	0.1	1.1	93.7
Cu	143.8	22.2	121.6	84.5
Fe	2077.3	77.9	1999.5	96.3
Hg	0.3	0.0	0.3	89.6
Mn	57.9	7.2	50.7	87.5
Ni	7.1	0.4	6.7	94.2
Pb	74.2	5.9	68.3	92.1
Zn	182.5	16.5	166.1	91.0

CARGAS MOVILIZADAS (mg/ha)	
Al	120
Ba	3373
Cd	1
Cr	200
Co	64
Cu	6754
Fe	111
Hg	17
Mn	2816
Ni	372
Pb	3794
Zn	9226

* unidades en g/ha

FLUJOS MÁXIMOS ASIGNADO A ESCORRÍA (mg/s)	
Al	3800.0
Ba	81.8
Cd	0.1
Cr	8.1
Co	2.0
Cu	246.7
Fe	3444.2
Hg	0.8
Mn	69.2
Ni	11.3
Pb	114.3
Zn	246.0



FICHA DE CARACTERIZACIÓN DEL SUCESO

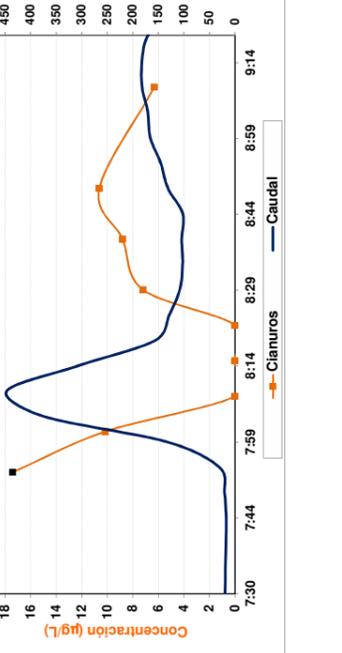
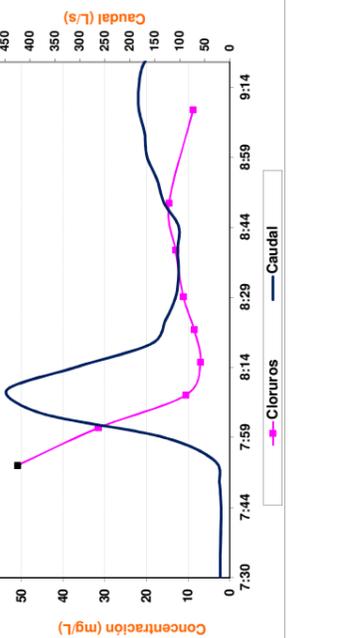
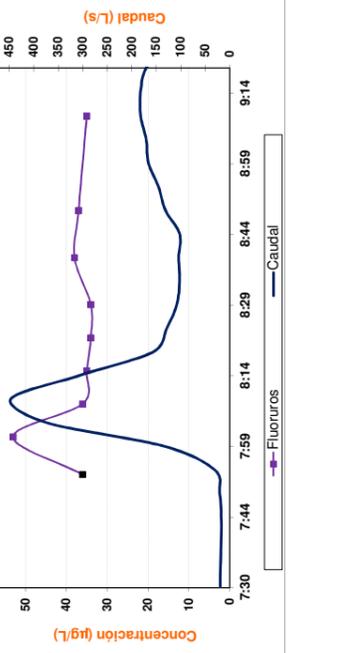
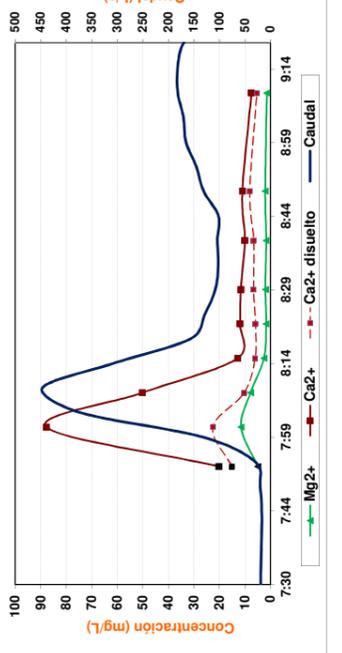
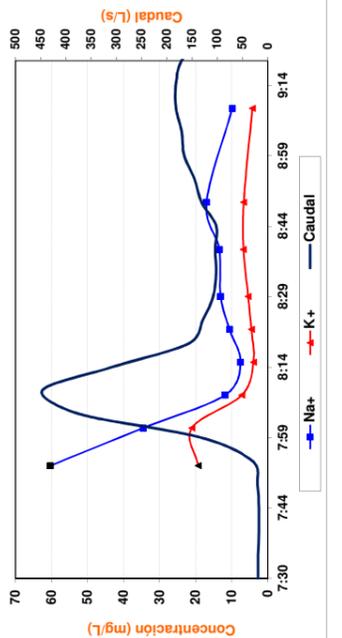
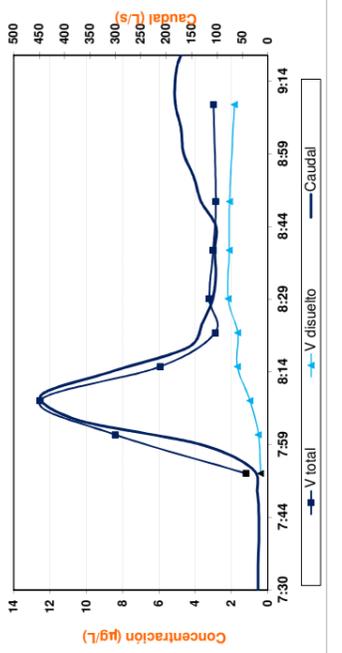
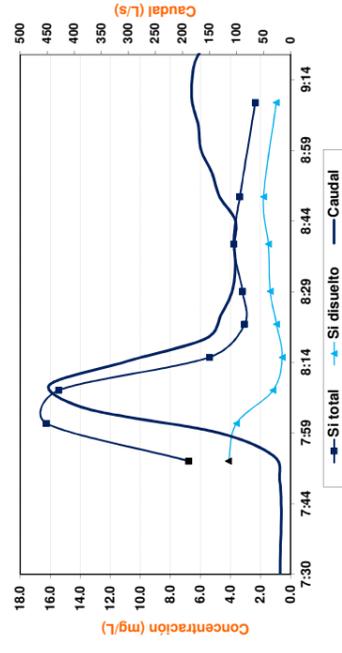
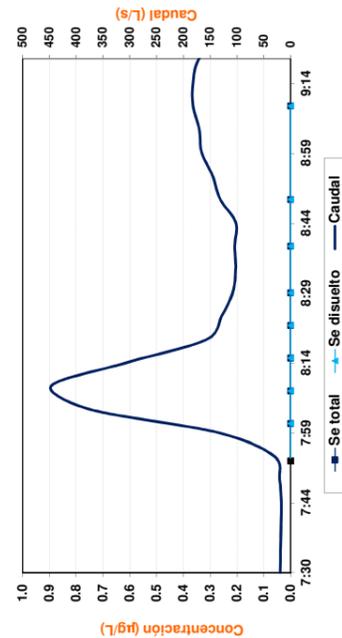
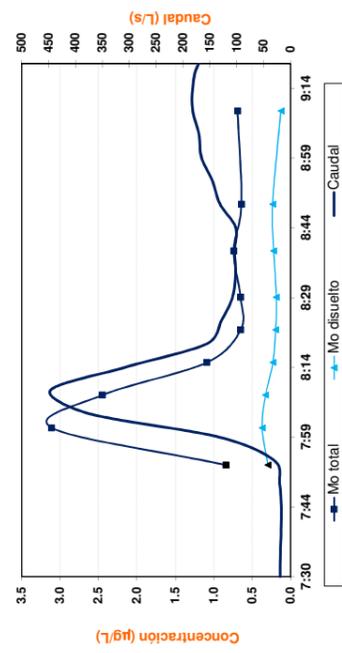
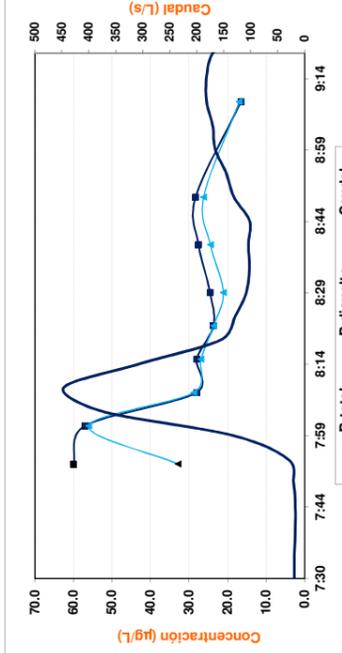
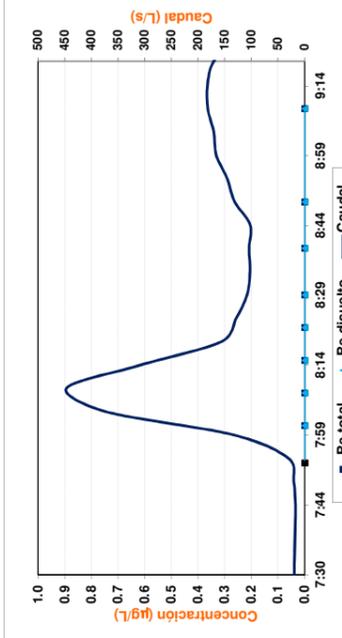
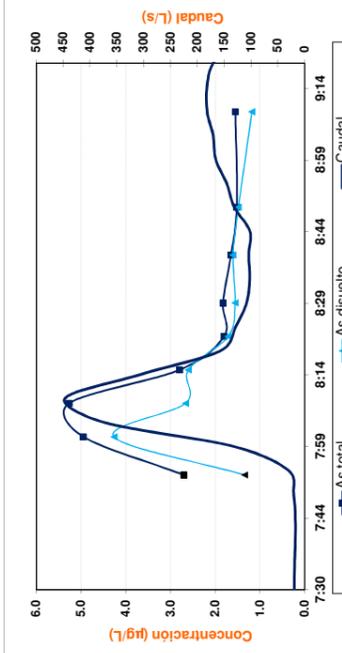
Ensanche

SUCESO:

SUC_211008

Hoja: 5 de 8

POLUTOGRAMAS - METALES (II), CATIONES Y ANIONES



CONCENTRACIONES

	[] MAX µg/L	[] MIN µg/L	[] MED µg/L	CMS µg/L
As	5.26	1.52	2.67	2.66
As (dis)	4.26	1.18	2.13	2.00
Be	0.00	0.00	0.00	0.00
Be (dis)	0.00	0.00	0.00	0.00
B	57.00	16.54	29.19	26.92
B (dis)	56.00	16.94	28.01	26.17
Mo	3.11	0.64	1.25	1.24
Mo (dis)	0.37	0.13	0.24	0.22
Se	0.00	0.00	0.00	0.00
Se (dis)	0.00	0.00	0.00	0.00
Si	16.3	2.4	6.6	6.5
Si (dis)	3.6	0.6	1.5	1.4
V	12.65	2.66	5.23	5.44
V (dis)	2.19	0.51	1.65	1.63
Mg ²⁺	34.6	7.6	14.7	13.7
Ca ²⁺	21.1	4.0	7.5	6.9
Ca ²⁺ (dis)	87.8	7.4	25.4	23.7
Mg ²⁺ (dis)	11.5	1.5	3.9	3.7
F	53.0	34.0	37.8	37.2
Cl	31.5	7.0	13.1	12.2
CN	10.6	0.0	5.4	5.4

* unidades en µg/L

MASAS TOTALES (g)

REGIST.	T. SECO	M. escorr.	M. tot (%)
As	2.1	0.3	85.6
Be	0.0	0.0	--
B	21.1	6.7	68.4
Mo	1.0	0.1	90.4
Se	0.0	0.0	--
Si	5118	756	4362
V	4.3	0.1	96.9

CARGAS MOVILIZADAS (mg/ha)

REGIST.	T. SECO	M. escorr.	M. tot (%)
As	99.3	0.0	0.0
Be	0.0	0.0	242.3
B	802.1	0.0	229.5
Mo	48.9	0.0	--

* unidades en g/ha

FLUJOS MÁXIMOS ASIGNADO A ESCORRENTÍA (mg/s)

REGIST.	T. SECO	M. escorr.	M. tot (%)
As	2.3	0.0	0.0
Be	0.0	0.0	6.7
B	11.6	0.0	5.6
Mo	1.1	0.0	--

* unidades en g/s

PARAMETRIZACIÓN DEL SUCESO



FICHA DE CARACTERIZACIÓN DEL SUCESO

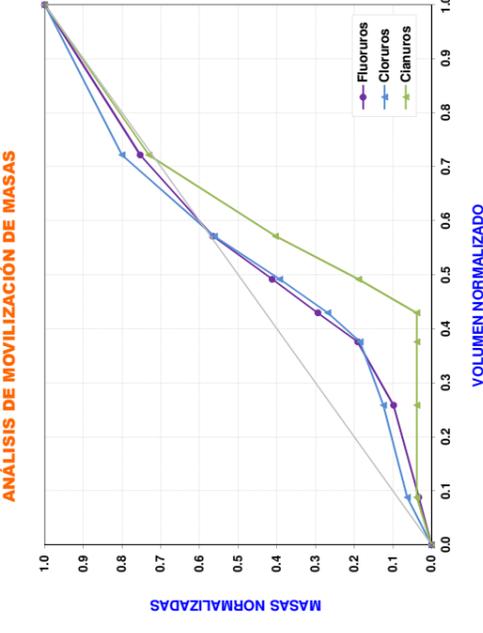
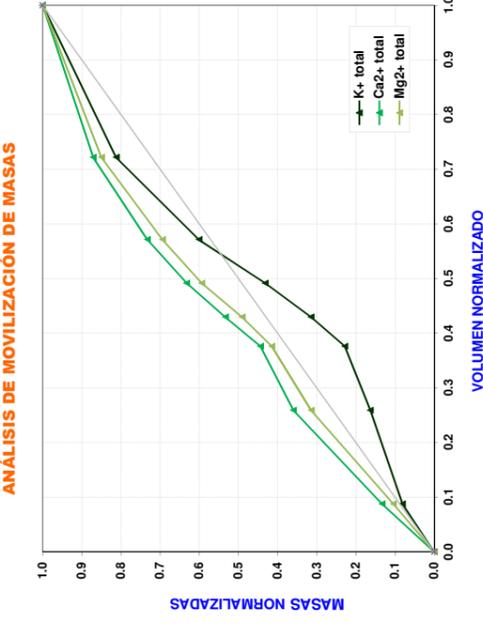
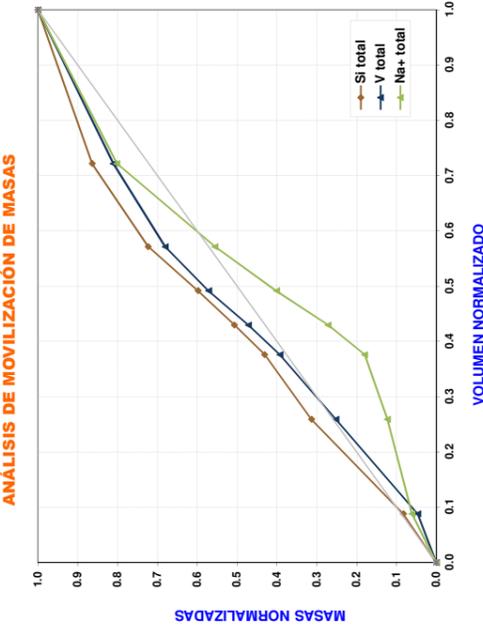
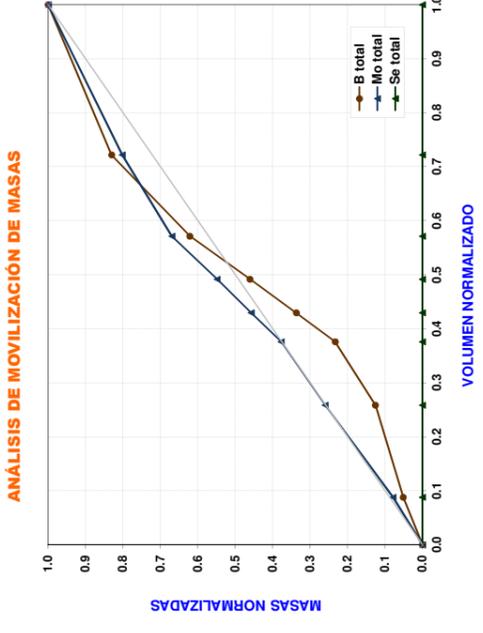
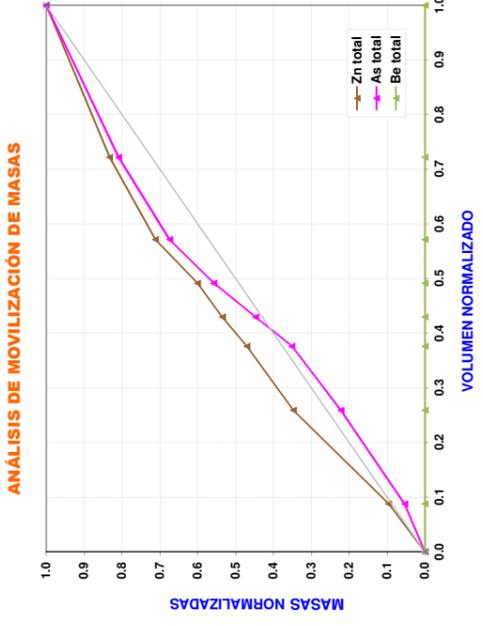
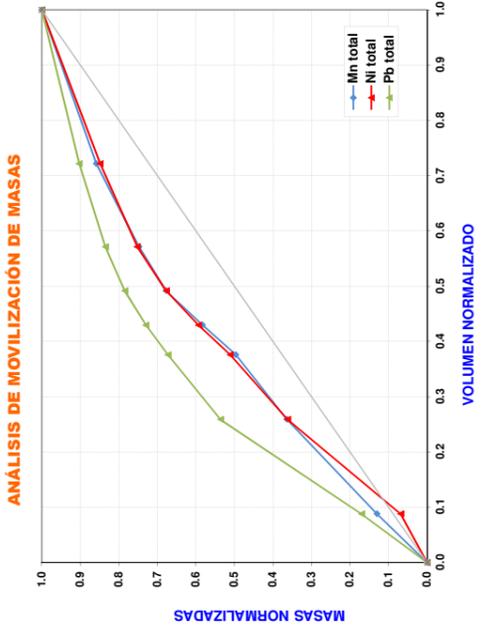
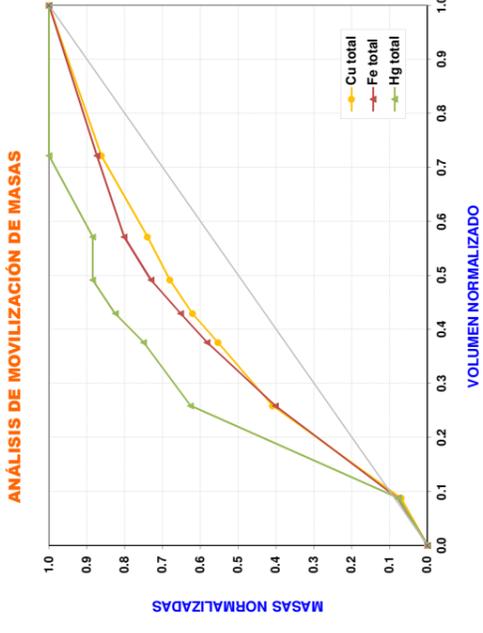
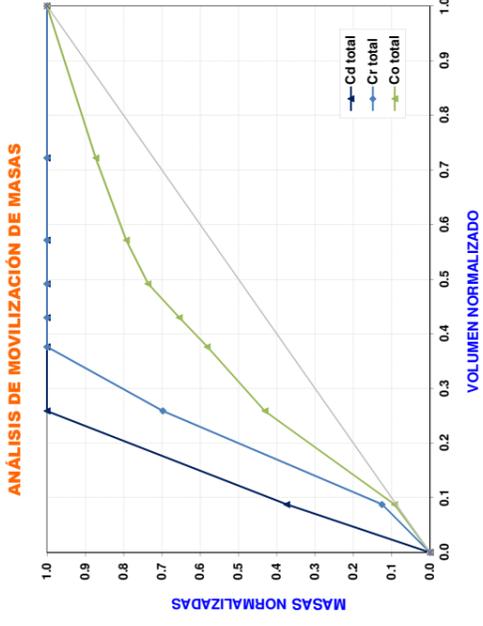
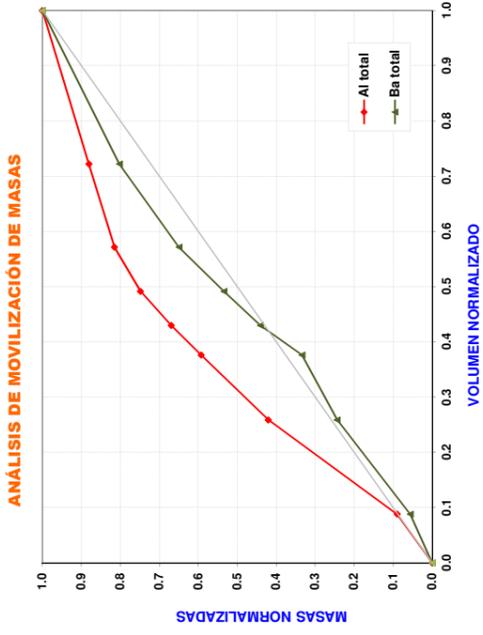
Ensanche

SUCESO: SUC_211008

Hoja: 6 de 8

ANÁLISIS DE MOVILIZACIÓN DE MASAS - METALES, CATIONES Y ANIONES

COEFICIENTES DE FORMA, Y=X^b



Al total	0.57	Be total	--
Ba total	0.95	B total	1.15
Cd total	0.15	Mo total	0.90
Cr total	0.27	Se total	--
Co total	0.58	Si total	0.78
Cu total	0.64	V total	0.88
Fe total	0.59	Na ⁺ total	1.31
Hg total	0.39	K ⁺ total	1.18
Mn total	0.67	Ca ²⁺ total	0.72
Ni total	0.68	Mg ²⁺ total	0.80
Pb total	0.46	F	1.31
Zn total	0.75	Cl	1.31
As total	0.93	CN ⁻	1.34



FICHA DE CARACTERIZACIÓN DEL SUCESO

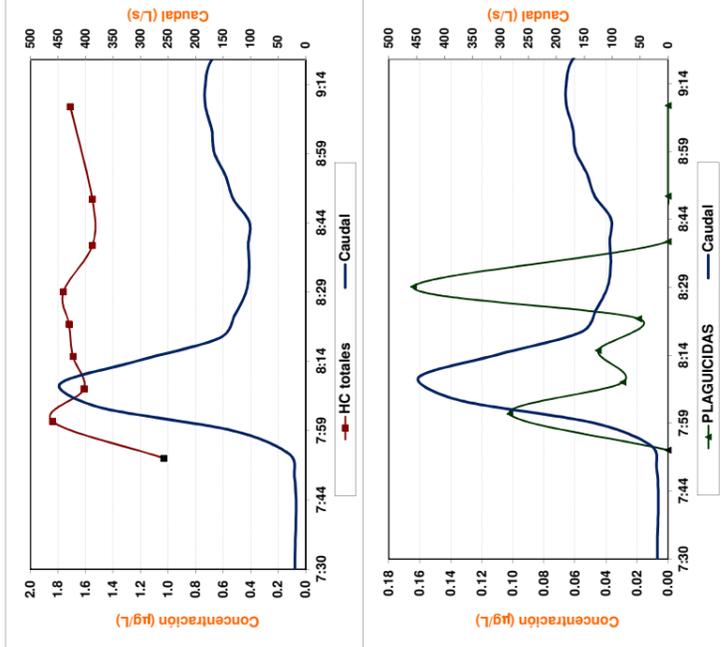
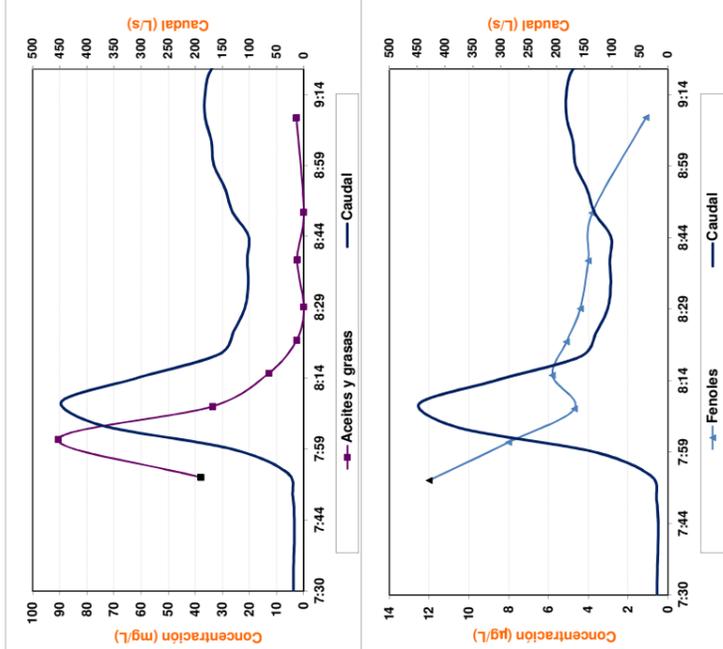
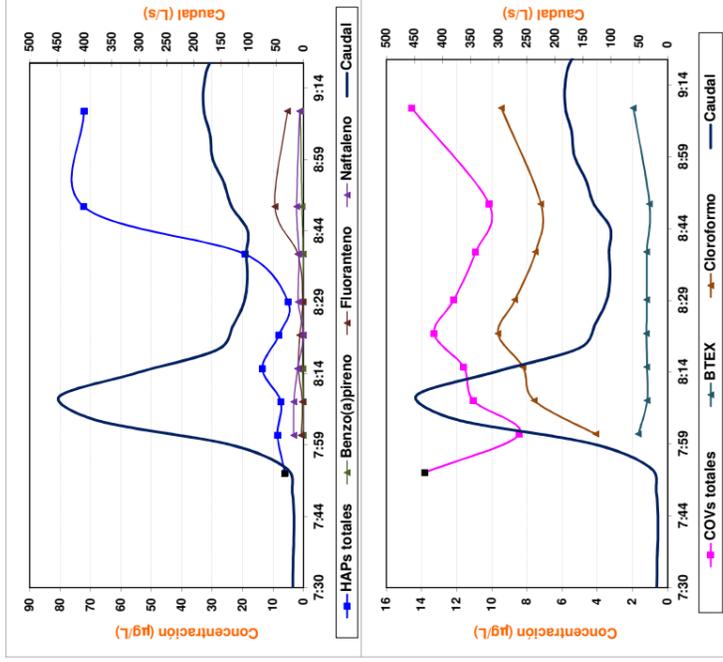
Ensanche

SUCESO:

SUC_211008

Hoja: 7 de 8

POLUTOGRAMAS - SUSTANCIAS PRIORITARIAS

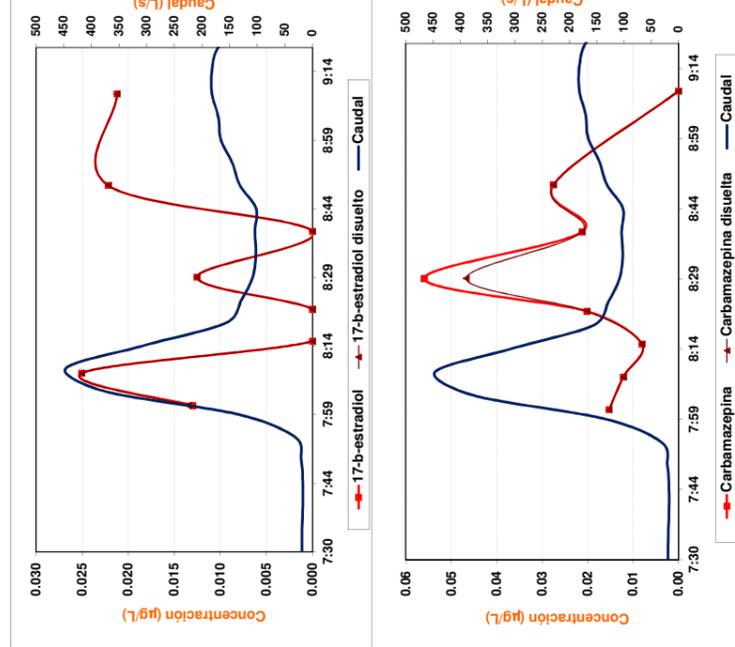
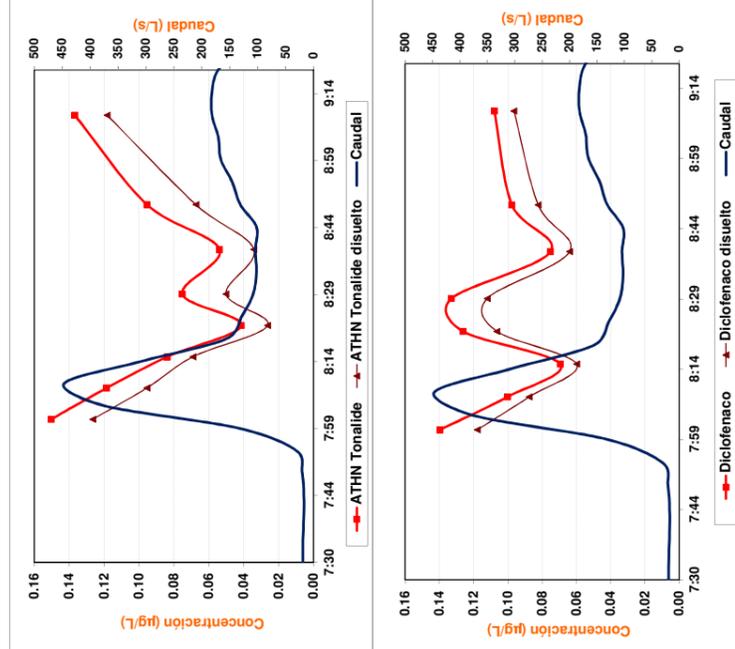
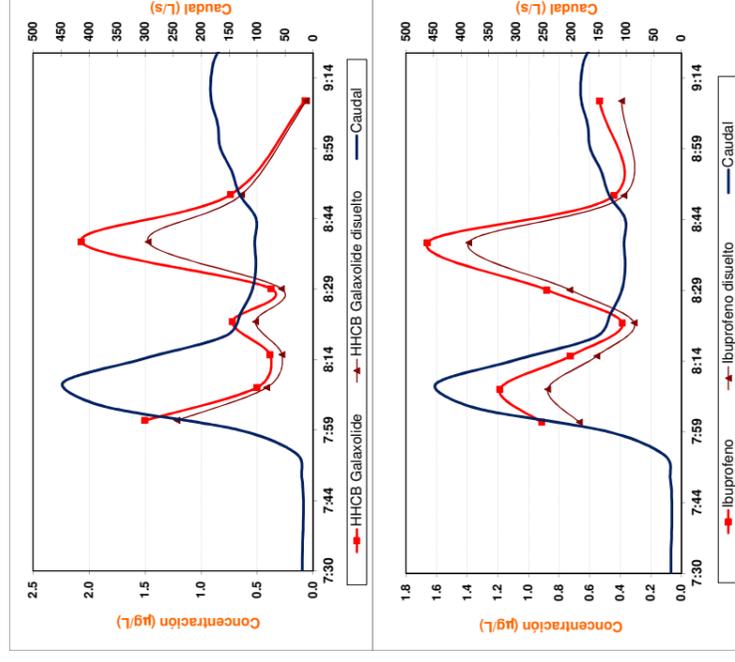


PARAMETRIZACIÓN DEL SUCESO

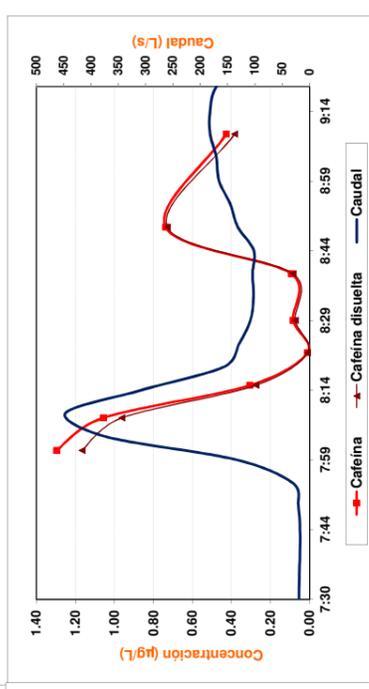
	[] MAX µg/L	[] MIN µg/L	[] MED µg/L	CMS µg/L
HAP's totales	72.3	5.1	25.8	36.8
HC totales	1.8	1.6	1.7	1.7
COV's totales	14.5	8.4	11.5	11.9
PLAGUICIDAS	0.2	0.0	0.0	0.0
Aceites y grasas	90.6	0.0	18.1	16.3
Fenoles	4.1	4.0	4.6	3.9

en mg/L

POLUTOGRAMAS - MICROCONTAMINANTES



	[] MAX µg/L	[] MIN µg/L	[] MED µg/L	CMS µg/L
HHCB Galaxolide	2.068	0.073	0.796	0.621
HHCB Galaxolide (ds)	1.473	0.060	0.610	0.486
ATHN Tonalide	0.150	0.041	0.094	0.107
ATHN Tonalide (ds)	0.127	0.026	0.073	0.086
17-β-estradiol	0.025	0.000	0.012	0.015
17-β-estradiol (ds)	0.025	0.000	0.012	0.015
Ibuprofeno	1.860	0.397	0.841	0.791
Ibuprofeno (ds)	1.391	0.309	0.662	0.611
Diclofenaco	0.140	0.069	0.106	0.103
Diclofenaco (ds)	0.118	0.060	0.091	0.089
Carbamazepina	0.056	0.000	0.020	0.015
Carbamazepina (ds)	0.047	0.000	0.019	0.014
Cafeína	1.296	0.010	0.501	0.573
Cafeína (ds)	1.165	0.010	0.460	0.527





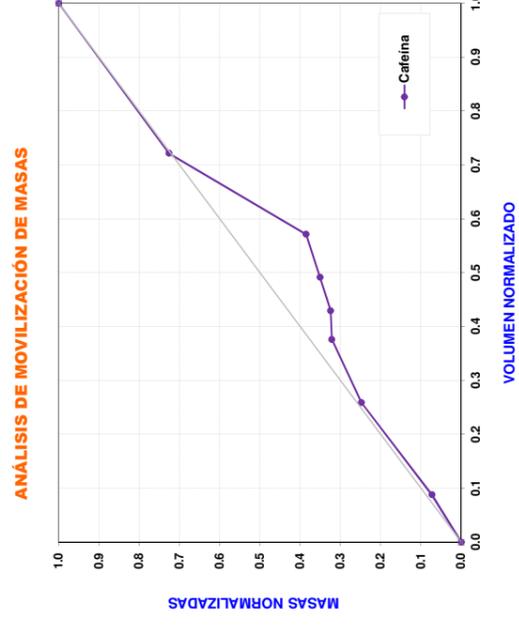
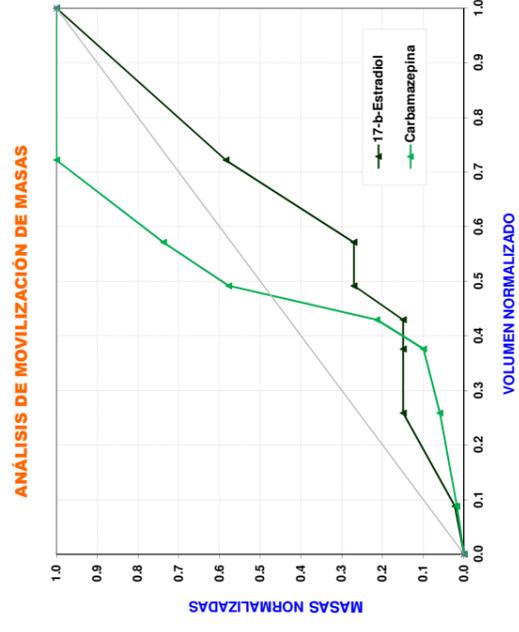
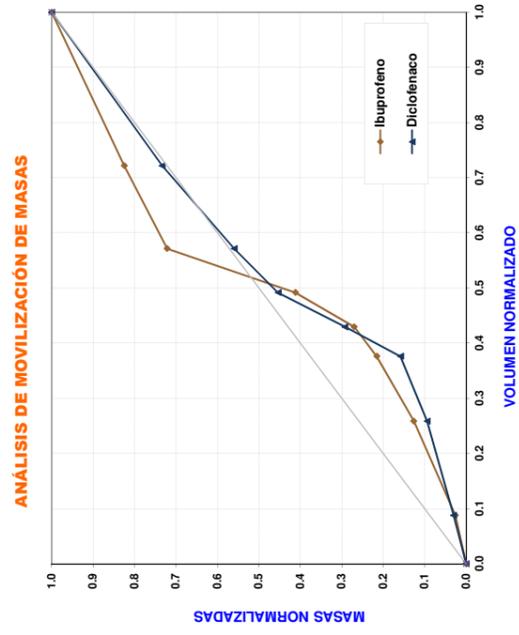
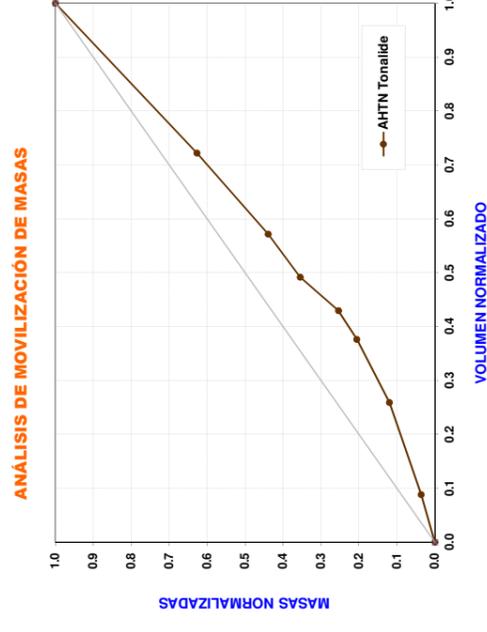
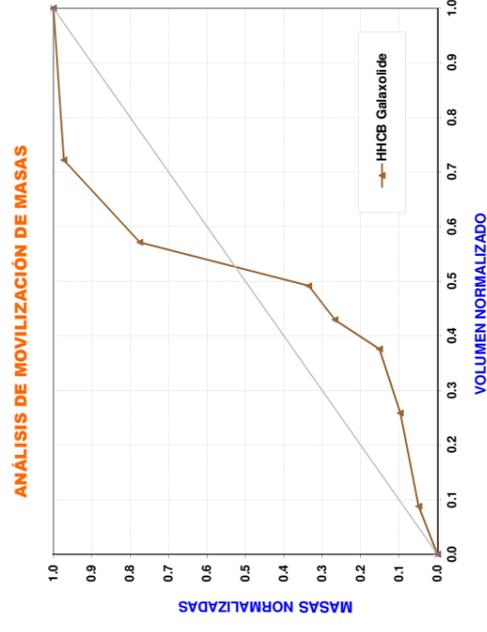
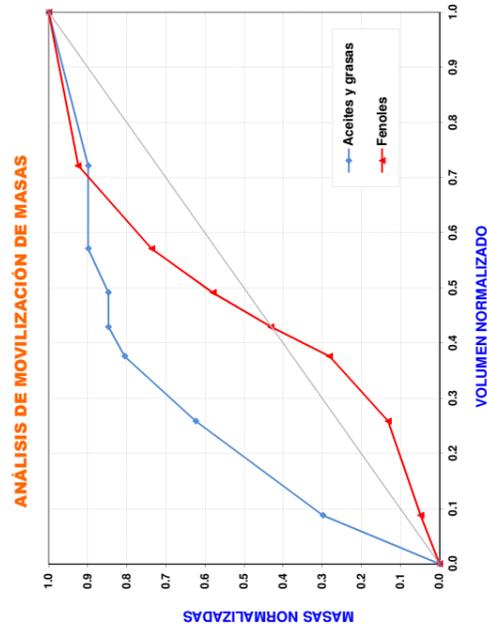
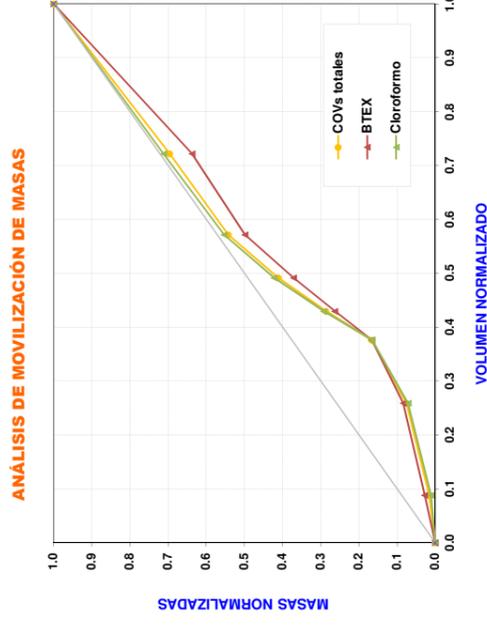
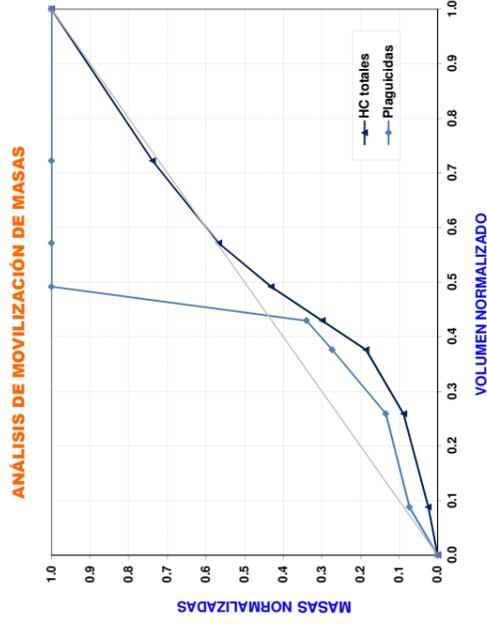
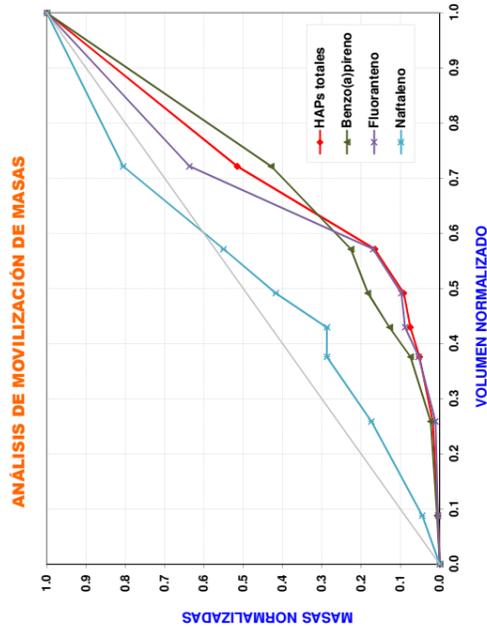
FICHA DE CARACTERIZACIÓN DEL SUCESO

Ensanche

SUCESO: SUC_211008

Hoja: 8 de 8

ANÁLISIS DE MOVILIZACIÓN DE MASAS - SUSTANCIAS PELIGROSAS Y MICROCONTAMINANTES



COEFICIENTES DE FORMA, Y=X^b

Sustancia	Coefficiente de forma (Y=X ^b)
HAPs totales	2.75
Benzo(a)pireno	2.55
Fluoranteno	2.48
Naftaleno	1.20
HC totales	1.32
COVs totales	1.40
BTEX	1.50
Cloroformo	0.73
Plaguicidas	1.37
Fenoles	0.95
Aceites y grasas	1.15
HHCB Galaxolide	1.19
AHTN Tonalide	1.52
17-β-estradiol	1.18
Ibuprofeno	1.18
Diclofenaco	1.32
Carbamazepina	1.15
Cafeína	1.29

5.3.3. Análisis y presentación de los resultados

El análisis, valoración, tratamiento y comparación con la bibliografía de los resultados obtenidos en las campañas realizadas en esta tesis se presentará en posteriores capítulos.

5.3.4. Modelización numérica de la cuenca

La modelización hidráulica de la cuenca urbana estudiada se realizó en 2 programas de drenaje urbano diferentes:

- ✓ *Storm Water Management Model (SWMM, versión 5.0.014.)* software gratuito de drenaje urbano de la Agencia de Protección del Medioambiente de los EE.UU. (U.S.EPA).
- ✓ *Wallingford Infoworks CS (versión 9.0.1.)*, programa de modelización de drenaje en cuencas urbanas bajo licencia, propiedad de la compañía británica Wallingford Software Ltd.

En este último software INFOWORKS CS también se ha realizado la modelización de la movilización de la contaminación por sólidos en suspensión en la cuenca.

Los resultados obtenidos con ambos modelos serán presentados en el capítulo 9.

5.4. TRABAJO DE LABORATORIO

5.4.1. Recepción de las muestras y determinaciones analíticas

Las determinaciones analíticas de los parámetros seleccionados para su estudio en la cuenca se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (LISA) de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y en los Laboratorios de los Servicios De Apoyo á Investigación (SAI) de la Universidade da Coruña. El reparto de analíticas se relata a continuación:

- En el LISA se realizaron las determinaciones de todos los parámetros básicos excepto el carbono orgánico total (COT) y el carbono orgánico disuelto (COD), también se realizaron los indicadores bacteriológicos, en total los contaminantes analizados en este laboratorio fueron: *DQO, DQO soluble, DBO₅, N total, N amoniacal, P total, Fosfatos, SS, SSV, SD, SDV, ST, STV, Turbidez, Conductividad a 20º, pH, Alcalinidad y Dureza, Coliformes fecales y Escherichia coli.*
- En los Laboratorios del SAI las muestras se distribuían por 3 Unidades de Análisis:
 - ✓ Unidad de Técnicas Instrumentales de Análisis: se determinaba el *COT, COD, los aniones (fluoruros, cloruros, cianuros) y los fenoles.*
 - ✓ Unidad de Espectrometría de Plasma-Masas: se determinaban los *metales (Al, As, Ba, Be, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Si, Se, V, Zn) y cationes (Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺) tanto totales como disueltos.*

- ✓ Unidad de Técnicas Cromatográficas: en la que analizaban los HAPs, COVs, Plaguicidas, Hidrocarburos totales, Aceites y grasas y los contaminantes emergentes totales y en fase disuelta (HHCB Galaxolide, AHTN Tonalide, Ibuprofeno, Diclofenaco, 17-β-Estradiol, Carbamazepina, Cafeína, Paracetamol, Amoxicilina, Flumequina, Enrofloxacin).

Se preparó un protocolo de recepción de muestras con el objetivo de optimizar los volúmenes disponibles y minimizar los tiempos de obtención de resultados analíticos mediante el reparto de cada muestra en botes de diferente material y volumen en función del grupo de parámetros a analizar. Una parte de cada muestra se prefiltraba en el LISA con el fin de agilizar la preparación para el análisis de determinados parámetros de contaminación realizados en el SAI. En la tabla siguiente se resume el procedimiento descrito.

Tabla 5-8. Protocolo de reparto de volúmenes de cada muestra para analíticas.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	TIPO DE CONTAMINANTE	VOLUMEN DE MUESTRA NECESARIO	TIPO DE BOTE	LUGAR DE REALIZACIÓN
MUESTRA SIN FILTRAR	Parámetros básicos	750 - 1000 mL	Plástico	Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
	Metales y cationes totales y COT	100 mL	Plástico	Laboratorios de los Servicios de Apoyo á Investigación (SAI) de la UdC
	Contaminantes emergentes	500 mL	Vidrio	
MUESTRA FILTRADA	Cianuros	30 -50 mL a pH >12	Plástico	
	Cloruros, fluoruros, fenoles y COD	100 mL	Plástico	
	Metales y cationes disueltos	100 mL	Plástico	
	COVs, HC totales, HAPs, Plaguicidas y Aceites y grasas	1150 - 1420 mL	Vidrio	

Las técnicas analíticas empleadas en las determinaciones se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 5-9. Métodos de análisis para la determinación de indicadores microbiológicos.

BACTERIOLOGÍA	MÉTODO	LUGAR DE REALIZACIÓN
Coliformes fecales	STANDARD METHOD 9222 D / m-FC with Rosolic Acid Broth (Millipore)	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
Escherichia coli	STANDARD METHOD 9222 D / m-ColiBlue 24 (Hach 10029)	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC

Tabla 5-10. Métodos de análisis para la determinación de los parámetros básicos.

PARÁMETROS BÁSICOS	MÉTODO	LUGAR DE REALIZACIÓN
DQO total	MÉTODO ISO DEL ÁCIDO SULFOCRÓMICO /Cubeta test Lange LCK 114, 314, 514	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
DQO soluble	MÉTODO ISO DEL ÁCIDO SULFOCRÓMICO /Cubeta test Lange LCK 114, 314, 514	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
DBO ₅ / DBO ₂₀	OXITOP WTW	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
Carbono orgánico total (COT)	Oxidación por combustión catalítica y detección por infrarrojo no dispersivo, en analizador TOC5000A-Shimadzu	Laboratorios del SAI de la UdC - Unidad de Técnicas Instrumentales de Análisis
Carbono orgánico disuelto (COD)	Oxidación por combustión catalítica y detección por infrarrojo no dispersivo, en analizador TOC5000A-Shimadzu	
N-total	2,6-DIMETIL FENOL /Cubeta test Lange LCK 138, 238, 338	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
N-amoniaco	AZUL DE INDOFENOL /Cubeta test Lange LCK 304	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
N-orgánico	Por cálculo: Ntotal - Namoniaco - Nitratos - Nitritos	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
Nitritos	STANDARD METHOD 4500 B	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
Nitratos	2,6-DIMETIL FENOL/ Cubeta test Lange LCK 339	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
Fósforo total	AZUL DE FOSFOMOLIBDENO /Cubeta test Lange LCK 348, 349, 350 con digestión	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
Fosfatos	AZUL DE FOSFOMOLIBDENO /Cubeta test Lange LCK 348, 349, 350 sin digestión	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
Fósforo orgánico	Por cálculo: Ptotal - Fosfatos	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
SS	UNE-EN-872-96 / STANDARD METHOD 2540 D	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
SSV	UNE- 77-034-83 / STANDARD METHOD 2540 E	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
SSF	Por cálculo: SS-SSV	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
SD	STANDARD METHOD 2540 C	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
SDV	STANDARD METHOD 2540 E	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
SDF	Por cálculo: SD-SDV	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
ST	STANDARD METHOD 2540 B	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
STV	STANDARD METHOD 2540 E	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
STF	Por cálculo: ST-STV	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
Sólidos sedimentables	STANDARD METHOD 2540 F / UNE 77-032-82	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
Turbidez	NORMATIVA ISO 7027:90	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
Conductividad a 20°	STANDARD METHOD 2510 B	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
pH	STANDARD METHOD 4500 - H ⁺ B	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
Alcalinidad	Determinación por colorimetría en Aquakem 250 (Labmedics) / STANDARD METHOD 2320 B	Laboratorios del SAI de la UdC Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
Dureza	Por cálculo a partir de la determinación de Ca y Mg	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
Absorbancia a 254 nm	Espectrofotometría de absorción molecular de luz UV a 254 nm	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC
Transmitancia a 254 nm	Espectrofotometría de absorción molecular de luz UV a 254 nm	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC

Tabla 5-11. Métodos de análisis para la determinación de los metales, cationes y aniones.

METALES, CATIONES Y ANIONES	MÉTODO	LUGAR DE REALIZACIÓN	Límite de cuantificación
<i>METALES Y CATIONES (totales y fase disuelta)</i>	Espectrometría de plasma-masas de alta resolución	Laboratorios del SAI de la UdC - Unidad de Espectrometría de Plasma-Masas	
Aluminio			0.1 µg/L
Arsénico			0.1 µg/L
Bario			0.1 µg/L
Berilio			0.5 µg/L
Boro			0.1 µg/L
Cadmio			0.1 µg/L
Calcio			0.1 µg/L
Cobalto			0.1 µg/L
Cobre			0.1 µg/L
Cromo			0.5 µg/L
Hierro			0.1 µg/L
Magnesio			0.1 µg/L
Manganeso			0.1 µg/L
Mercurio			0.05 µg/L
Molibdeno			0.1 µg/L
Níquel			0.1 µg/L
Plomo			0.1 µg/L
Potasio			0.1 µg/L
Selenio			2.5 µg/L
Silicio			0.1 µg/L
Sodio	0.1 µg/L		
Vanadio	0.1 µg/L		
Zinc	1 µg/L		
<i>METALES Y CATIONES (fase particulada)</i>	Por cálculo: total - disuelto	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC	
Fluoruros	Determinación mediante cromatografía iónica en cromatógrafo 850 Professional IC, de Metrohm	Laboratorios del SAI de la UdC - Unidad de Técnicas Instrumentales de Análisis	0.1 mg/L
Cloruros	Determinación mediante cromatografía iónica en cromatógrafo 850 Professional IC, de Metrohm		0.1 mg/L
Cianuros	Determinación por colorimetría en un analizador de flujo segmentado Futura (Alliance)		5 mg/L

Tabla 5-12. Métodos de análisis para la determinación de las sustancias prioritarias.

SUSTANCIAS PRIORITARIAS	MÉTODO	LUGAR DE REALIZACIÓN	Límite de cuantificación
FENOLES	Determinación por colorimetría en un analizador de flujo segmentado Futura (Alliance)	Laboratorios del SAI de la UdC - Unidad de Técnicas Instrumentales de Análisis	0.1 mg/L
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS	Extracción líquido-líquido seguida de SPE (extracción en fase sólida) y determinación por cromatografía de líquidos con detector de fluorescencia programada (HPLC-FL)	Laboratorios del SAI de la UdC - Unidad de Técnicas Cromatográficas	0.001 µg/L
COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES	Extracción mediante "purge and trap" y determinación por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS)		0.01 µg/L
PLAGUICIDAS	Extracción líquido-líquido seguida de SPE (extracción en fase sólida) y determinación por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS)		0.0007 µg/L
HIDROCARBUROS TOTALES	Extracción líquido-líquido seguida de SPE (extracción en fase sólida) y determinación por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS)		0.1 µg/L
ACEITES Y GRASAS	Extracción líquido-líquido seguida de determinación gravimétrica		1 mg/L

Tabla 5-13. Métodos de análisis para la determinación de los contaminantes emergentes (PPCPs).

CONTAMINANTES EMERGENTES (PPCPs)	MÉTODO	LUGAR DE REALIZACIÓN	Límite de cuantificación
FASE PARTICULADA Y DISUELTA	Extracción por SPE (extracción en fase sólida) y determinación por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) y cromatografía de líquidos acoplada a espectrometría de masas (HPLC-MS)	Laboratorios del SAI de la UdC - Unidad de Técnicas Cromatográficas	
GALAXOLIDE (HHCB)			0.006 µg/L
TONALIDE (ATHN)			0.006 µg/L
IBUPROFENO			0.006 µg/L
DICLOFENACO			0.006 µg/L
CARBAMAZEPINA			0.006 µg/L
17-β-ESTRADIOL			0.006 µg/L
CAFEÍNA			0.006 µg/L
PARACETAMOL			0.006 µg/L
AMOXICILINA			0.006 µg/L
FLUMEQUINA			0.006 µg/L
ENROFLOXACINA			0.006 µg/L
TOTALES	Por cálculo: fase particulada + fase disuelta	Laboratorio de ISA de la ETSICCP de la UdC	

5.4.2. Ensayos de tratabilidad

Se realizaron ensayos de tratabilidad en el LISA mediante proceso físico-químico a 7 sucesos de lluvia muestreados (del 4º al 10º).

Para cada suceso de lluvia recogido se preparaba con el volumen restante (no utilizado para determinaciones analíticas) disponible de cada muestra una compuesta ponderada según caudal. El volumen de la muestra compuesta se repartía en diferentes vasos de precipitados de 500 mL. Se realizaban los ensayos en los que se utilizaron 2 productos coagulantes: policloruro de aluminio (PAC) y cloruro férrico y, como floculante, se empleó polielectrolito aniónico PROQUIFLOC® A-1849 (copolímero de acrilamida y acrilato sódico).

Los detalles y resultados de estos ensayos de tratabilidad físico-química se expondrán en su capítulo correspondiente.

A las muestras resultantes de estos ensayos se le realizaron determinaciones analíticas de algunos parámetros de contaminación con el objetivo de establecer dosis óptimas de reactivos y rendimientos de eliminación obtenidos. Los contaminantes analizados en cada suceso de lluvia tratado se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5-14. Parámetros de contaminación analizados en las muestras resultantes de los ensayos de tratabilidad mediante proceso físico-químico.

TRATABILIDAD DE SUCESOS	TRAT SUC4	TRAT SUC5	TRAT SUC6	TRAT SUC7	TRAT SUC8	TRAT SUC9	TRAT SUC10
Fecha	15/04/2009	25/04/2009	10/05/2009	23/05/2009	04/06/2009	25/06/2009	24/08/2009
nº de muestras	7	6	8	4	5	8	3
PARÁMETROS BÁSICOS							
DQO							
N amoniacal							
SS							
SSV							
Turbidez							
pH							
Absorbancia a 254 nm							
Transmitancia a 254 nm							
METALES Y CATIONES (totales y disueltos)							
Hg							
Al							
Ba							
Cd							
Cr							
Co							
Cu							
Fe							
Mn							
Ni							
Pb							
Zn							
As							
B							
Mo							
Si							
V							
Na+							
K+							
Ca2+							
Mg2+							

color verde: analítica realizada
 color rojo: analítica no realizada



CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE LOS FLUJOS DE AGUA RESIDUAL DE LA CUENCA EN TIEMPO SECO

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE LOS FLUJOS DE AGUA RESIDUAL DE LA CUENCA EN TIEMPO SECO

ÍNDICE CAPÍTULO 6

6.1. ANÁLISIS DE LOS HIDROGRAMAS DE AGUAS RESIDUALES EN TIEMPO SECO	6-3
6.1.1. Análisis de caudales generados en tiempo seco.....	6-3
6.1.2. Análisis de la infiltración en la red.....	6-6
6.2. ANÁLISIS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA EN TIEMPO SECO	6-8
6.2.1. Parámetros básicos	6-8
6.2.1.1. <i>Flujos máxicos horarios hacia EDAR</i>	6-16
6.2.1.2. <i>Estimación de habitantes-equivalentes en la cuenca urbana estudiada</i>	6-17
6.2.2. Metales, cationes y aniones.....	6-19
6.2.2.1. <i>Metales</i>	6-19
6.2.2.2. <i>Cationes y aniones</i>	6-26
6.2.3. Sustancias prioritarias	6-30
6.2.4. Contaminantes emergentes o “PPCPS”	6-32
6.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONTAMINANTES EN TIEMPO SECO.....	6-35
6.3.1. Parámetros básicos	6-35
6.3.2. Metales seleccionados	6-39
6.3.3. Análisis de componentes principales de los contaminantes estudiados en tiempo seco	6-43

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE LOS FLUJOS DE AGUA RESIDUAL DE LA CUENCA EN TIEMPO SECO

6.1. ANÁLISIS DE LOS HIDROGRAMAS DE AGUAS RESIDUALES EN TIEMPO SECO

6.1.1. Análisis de caudales generados en tiempo seco

Se analizaron los caudales registrados en la cuenca durante los días de tiempo seco; para ello fue necesario filtrar los registros y seleccionar los de aquellos días en los cuales los valores de precipitación fueron nulos. El comportamiento hidráulico de la cuenca en tiempo seco se caracteriza por ser homogéneo como puede apreciarse en la siguiente figura donde se presentan los caudales de los días de tiempo seco, organizados por semanas, extraídos a lo largo de la campaña de aforo de caudales (14 meses) y, por lo tanto, pertenecientes a las cuatro estaciones del año.

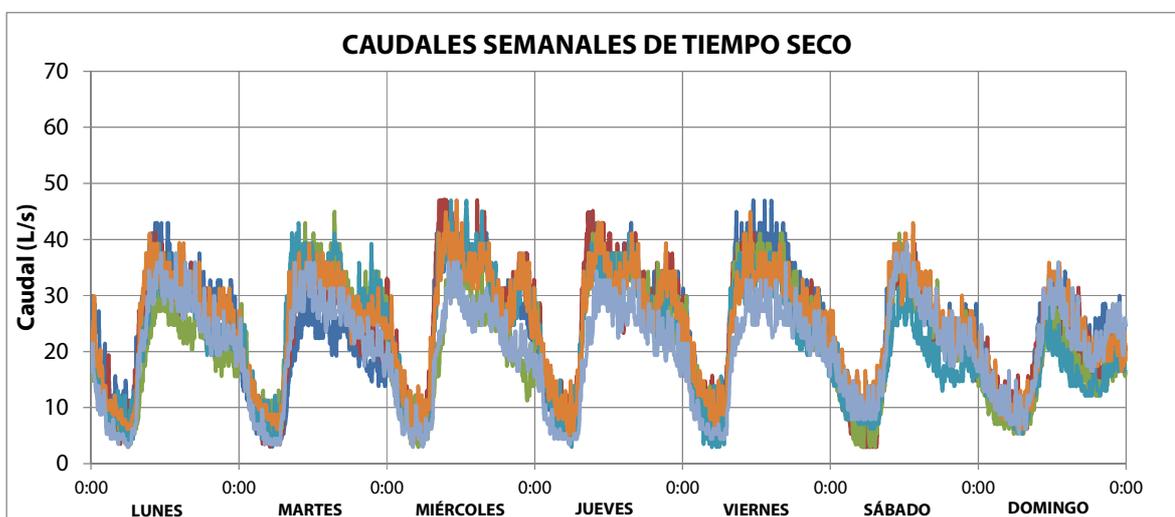


Figura 6-1. Caudales semanales de tiempo seco.

Del promedio de los registros presentados en la figura anterior pueden presentarse los caudales semanales medios.

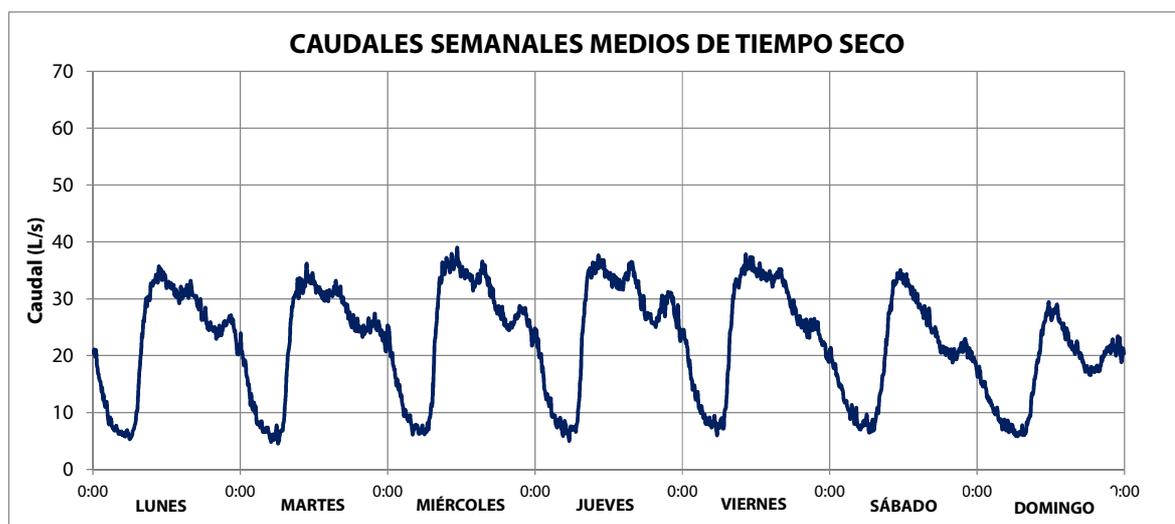


Figura 6-2. Caudales semanales medios de tiempo seco.

En la variación semanal de caudales semanal se diferencian con claridad los días de fin de semana, especialmente el domingo, con un consumo de agua inferior al resto de la semana. Se aprecia, sobre todo, el cese de actividad comercial en la tarde del sábado y todo el domingo.

Si se analizan los hidrogramas de tiempo seco por cada día de la semana y se realizan los promedios de los valores medios, máximos y mínimos, los resultados que se obtienen son los presentados en la siguiente tabla.

Tabla 6-1. Valores y coeficientes característicos de caudales de tiempo seco por día de la semana.

Caudales (L/s)	VALOR MEDIO	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO	Coficiente punta	Coficiente de mínimos
LUNES	22.7	35.7	5.3	1.57	0.23
MARTES	22.6	36.2	4.5	1.60	0.20
MIÉRCOLES	24.6	39.0	6.1	1.58	0.25
JUEVES	24.9	37.6	5.0	1.51	0.20
VIERNES	24.4	37.8	6.0	1.55	0.25
SÁBADO	20.4	35.1	6.5	1.72	0.32
DOMINGO	17.1	29.4	5.8	1.72	0.34
TODOS	22.4	35.8	5.6	1.61	0.26

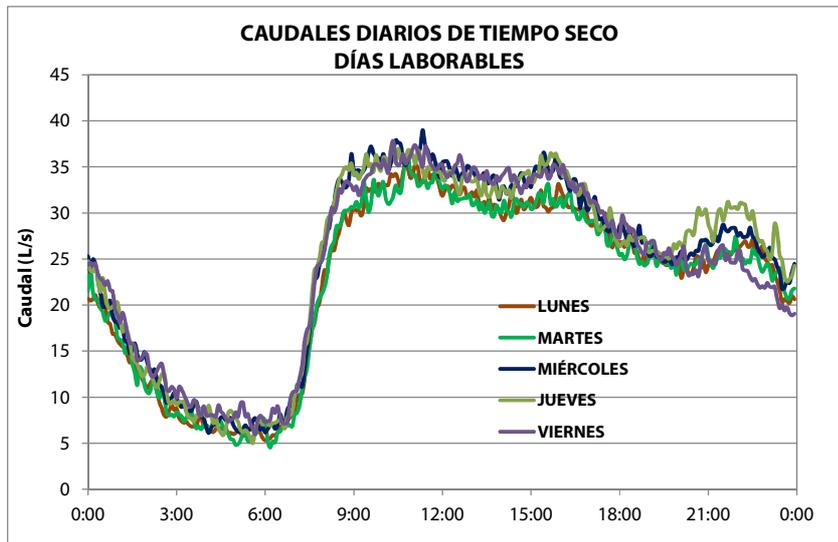


Figura 6-3. Caudales promediados de cada día laborable.

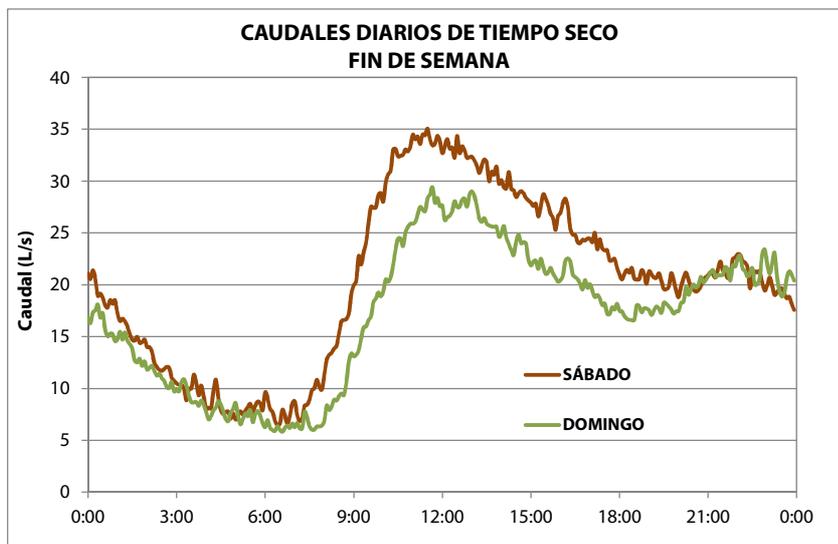


Figura 6-4. Caudales promediados de cada día de fin de semana.

Los resultados promediados diarios también se pueden agrupar en días laborables y días de fin de semana.

Tabla 6-2. Valores y coeficientes característicos de caudales de tiempo seco según su categoría.

Caudales (L/s)	VALOR MEDIO	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO	Coficiente punta	Coficiente de mínimos
LABORABLES	23.8	37.3	5.4	1.56	0.23
FIN DE SEMANA	18.7	32.2	6.1	1.72	0.33
TODOS	22.4	35.8	5.6	1.61	0.26

Las "Instrucciones Técnicas para Obras Hidráulicas" de la Xunta de Galicia, en su capítulo "ITOHG-SAN-1/1", detallan el cálculo del coeficiente punta de variación horaria de la demanda de agua urbana a lo largo del día mediante la siguiente ecuación:

$$Cp_{h,urb} = 1.6 \cdot \left(1 + \left(\frac{1}{QD_{m,urb}} \right)^{0.5} \right)$$

Siendo $QD_{m,urb}$ el caudal medio diario de origen urbano, cuyo valor para la cuenca "Ensanche" es de 22.4 L/s, tal y como se presenta en la tabla 6-2. Si se calcula el $Cp_{h,urb}$ para la cuenca estudiada se obtiene un valor de 1.94, ligeramente superior al 1.61 resultante de la campaña de medición de caudales.

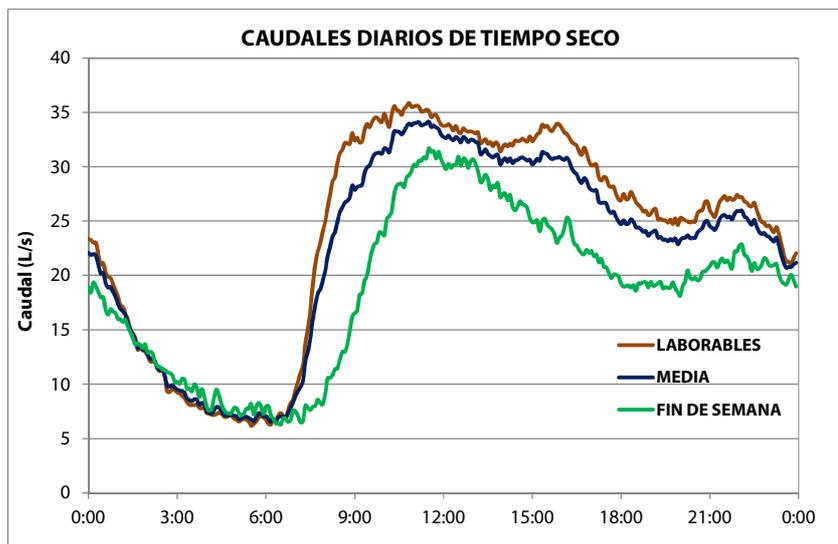


Figura 6-5. Caudales promediados según tipo de día de la semana.

Como resultado de este análisis puede concluirse que los hidrogramas de los días laborables presentan tres puntas de caudal correspondientes con las tres comidas del día. Una punta por la mañana debida al aseo y al desayuno, la siguiente punta después de la comida, entre las tres y las cuatro de la tarde, y una punta menos acusada por la noche, coincidiendo con la cena, en torno a las diez de la noche.

En los días de fin de semana los valores de caudal son menores y las puntas están menos definidas; cabe destacar que la punta de la mañana aparece retrasada en el tiempo, especialmente el domingo.

El valor obtenido para el caudal medio registrado en la cuenca estudiada ha sido de 22.4 L/s y pueden apreciarse unos coeficientes punta moderados, mientras que los coeficientes mínimos son muy bajos, esto indica que existe una importante variación diaria entre el caudal máximo y el mínimo, este hecho es indicativo de la ausencia de infiltraciones en la red de saneamiento, cuyo factor será analizado en el siguiente apartado.

6.1.2. Análisis de la infiltración en la red

El estudio de la existencia de infiltración en la red de saneamiento y drenaje estudiada es importante debido a que, en caso de que este factor sea significativo, repercutirá en las características de las aguas residuales de tiempo seco. La concentración de los parámetros de contaminación variará en función de cómo la infiltración, sobre todo si procede del nivel freático, va drenando la cuenca; en general la infiltración producirá dilución.

La intensidad y la cantidad de agua infiltrada dependen de la longitud de la red, del área servida, de las condiciones topográficas y del terreno, y hasta cierto punto de la densidad de población, pues de ella depende el número y longitud total de conexiones a las viviendas. A pesar de que la altura del nivel freático depende en gran medida de las precipitaciones, es frecuente que las pérdidas debidas a uniones defectuosas, porosidad del hormigón y existencia de grietas hagan descender el nivel freático hasta el nivel de la red.

El caudal que produce la infiltración y las aportaciones incontroladas es un componente variable de las aguas residuales, y depende de la calidad de los materiales y mano de obra empleados en la construcción de las alcantarillas, de los pozos de registro y las conexiones de los edificios, así como del tipo de mantenimiento y de la altura del nivel freático en relación a la ubicación de la red de alcantarillado.

En la figura inferior se presenta el esquema del comportamiento hidráulico de una red para la identificación de la existencia de infiltraciones.

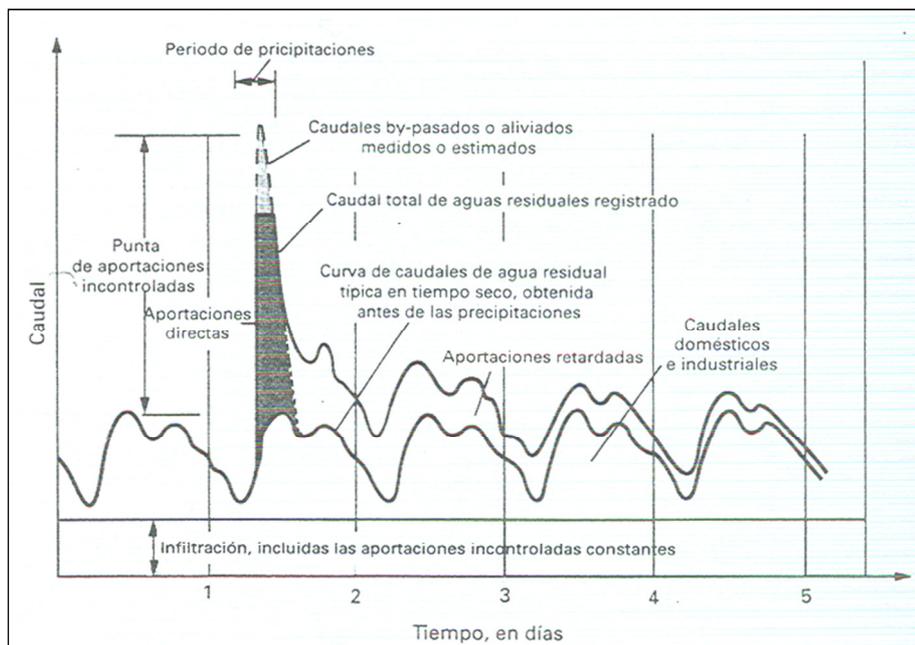


Figura 6-6. Identificación gráfica de la infiltración y las aportaciones incontroladas (Metcalf-Eddy, 1991).

La existencia de un caudal basal alto constante o de aportaciones retardadas a la red puede ser debido a múltiples factores, entre los que destacan infiltraciones por nivel freático o descargas de los sistemas de bombeo para el drenaje de sótanos y garajes.

Para el análisis de la infiltración en la red de saneamiento y drenaje del "Ensanche" se han analizado diferentes períodos de tiempo seco, haciendo hincapié en aquellos posteriores a períodos largos de precipitaciones para evaluar el hipotético aumento de los caudales

basales (mínimos nocturnos) y las aportaciones retardadas. A modo de ejemplo se presentan dos de los períodos de tiempo seco analizados.

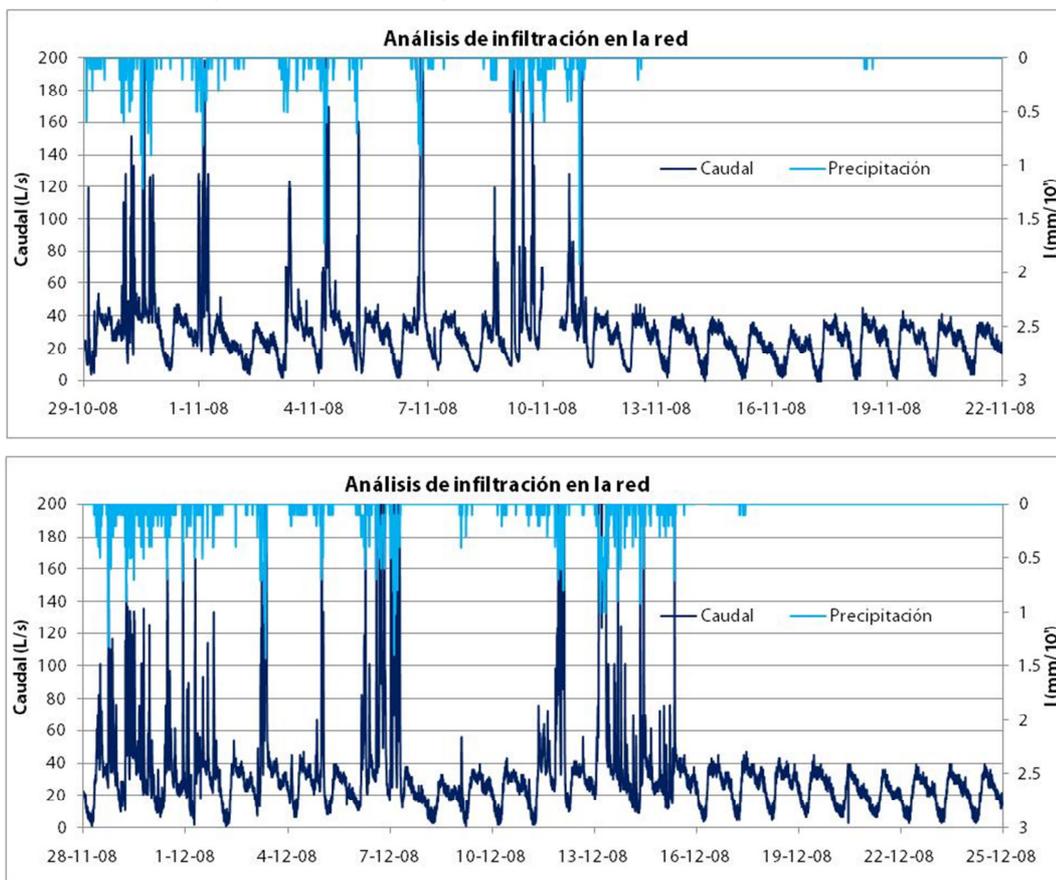


Figura 6-7. Análisis de períodos de tiempo seco postlluvias en la cuenca.

En los períodos graficados puede apreciarse la ausencia de infiltración en el sistema dado que no aumentan ni el caudal basal nocturno ni las aportaciones retardadas en los períodos postlluvias. No obstante, para corroborar este hecho, se analizaron los caudales diarios de los días pertenecientes a períodos de tiempo seco posteriores a largas fases de eventos pluviométricos y se compararon con los de los días de etapas de larga duración sin precipitaciones. Los resultados se presentan a continuación.

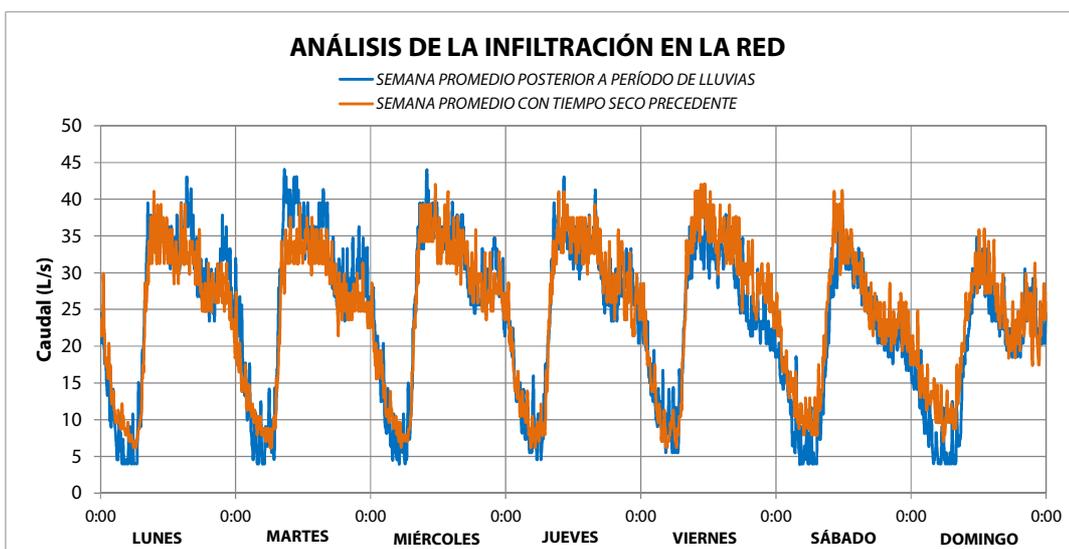


Figura 6-8. Comparación de caudales semanales por tipo de período de tiempo seco.

La variación semanal de caudales es casi idéntica para los dos tipos de períodos de tiempo seco estudiados, por lo que se confirma la ausencia de aportes hídricos externos al sistema, factor que explicará los resultados obtenidos durante la caracterización de las aguas residuales generadas en la cuenca en tiempo seco que se presentan a continuación.

6.2. ANÁLISIS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA EN TIEMPO SECO

Los resultados completos y detallados de la toda la información obtenida durante las campañas de caracterización de la cuenca en tiempo seco se presentan en el Anejo titulado RESULTADOS COMPLETOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA EN TIEMPO SECO. A continuación se procede a exponer, de forma agrupada y resumida, el análisis del comportamiento de la cuenca en cuanto a las concentraciones y cargas de contaminación generadas en tiempo seco.

6.2.1. Parámetros básicos

En primer lugar se presentan los valores y coeficientes característicos de todos los parámetros básicos, diferenciando entre días laborables y de fin de semana.

Tabla 6-3. Valores y coeficientes característicos de los parámetros básicos para los días laborables.

PARÁMETROS BÁSICOS	LABORABLES					
	CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA A CAUDAL	CONCENTRACIÓN MÁXIMA	CONCENTRACIÓN MÍNIMA	Coefficiente punta	Coefficiente de mínimos	kg/día
DQO (mg/L)	721	1044	183	1.45	0.25	1549.4
DQO soluble (mg/L)	242	381	52	1.58	0.22	519.3
DBO ₅ (mg/L)	413	654	100	1.58	0.24	885.8
COT (mg/L)	115.3	200.6	20.3	1.74	0.18	236.4
COD (mg/L)	51.2	62.6	19.0	1.22	0.37	105.0
Nitrógeno total (mg/L)	58.6	73.8	30.8	1.26	0.53	125.7
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	39.1	54.7	21.7	1.40	0.55	83.8
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.30	0.48	0.03	1.58	0.11	0.6
N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	0.05	0.08	0	1.63	0.00	0.11
P total (mg/L)	7.7	10.0	3.7	1.29	0.47	16.5
Fosfatos (mg/L)	5.5	7.1	2.3	1.28	0.41	11.9
Sólidos en Suspensión (mg/L)	257	395	43	1.53	0.17	549.3
Sólidos en Suspensión Volátiles (mg/L)	220	325	35	1.47	0.16	470.4
Sólidos en Suspensión Fijos (mg/L)	37	70	8	1.90	0.23	78.8
Sólidos Disueltos (mg/L)	350	464	203	1.32	0.58	755.0
Sólidos Disueltos Volátiles (mg/L)	124	193	59	1.56	0.48	268.7
Sólidos Disueltos Fijos (mg/L)	226	271	144	1.20	0.64	486.3
Sólidos totales (mg/L)	607	825	276	1.30	0.44	1361.9
Sólidos Totales Volátiles (mg/L)	344	531	105	1.46	0.29	781.8
Sólidos Totales Fijos (mg/L)	263	294	172	1.09	0.63	580.0
Turbidez (UFT)	178	297	39	1.67	0.22	
Conductividad a 20° (µs/cm)	713	791	471	1.11	0.66	
pH	7.0	7.4	6.8	1.05	0.96	
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	218	266	145	1.22	0.66	466.0
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	68	81	55	1.18	0.81	144.9
Coliformes fecales (UFC/100mL)	4.2E+08	1.7E+09	1.3E+07	3.99	0.03	

Tabla 6-4. Valores y coeficientes característicos de los parámetros básicos para los días de fin de semana.

PARÁMETROS BÁSICOS	FIN DE SEMANA					
	CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA A CAUDAL	CONCENTRACIÓN MÁXIMA	CONCENTRACIÓN MÍNIMA	Coefficiente punta	Coefficiente de mínimos	kg/día
DQO (mg/L)	506	745	231	1.47	0.46	927.7
DQO soluble (mg/L)	214	315	58	1.47	0.27	391.6
DBO ₅ (mg/L)	335	500	145	1.49	0.43	613.6
COT (mg/L)	81.5	138.8	22.4	1.70	0.27	149.4
COD (mg/L)	45.6	63.3	20.0	1.39	0.44	83.5
Nitrógeno total (mg/L)	46.7	55.8	36.6	1.20	0.78	85.5
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	33.0	40.5	25.8	1.23	0.78	60.4
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.26	0.38	0.06	1.49	0.24	0.5
N-NO ₂ ⁻ (mg/L)						
P total (mg/L)	6.8	8.5	4.0	1.25	0.59	12.4
Fosfatos (mg/L)	4.1	5.6	1.8	1.38	0.44	7.5
Sólidos en Suspensión (mg/L)	152	276	60	1.81	0.39	279.1
Sólidos en Suspensión Volátiles (mg/L)	138	250	50	1.81	0.36	253.1
Sólidos en Suspensión Fijos (mg/L)	14	26	10	1.83	0.70	26.0
Sólidos Disueltos (mg/L)	264	322	166	1.22	0.63	483.3
Sólidos Disueltos Volátiles (mg/L)	78	102	38	1.31	0.49	142.4
Sólidos Disueltos Fijos (mg/L)	186	220	128	1.18	0.69	340.8
Sólidos totales (mg/L)	416	674	262	1.36	0.53	906.9
Sólidos Totales Volátiles (mg/L)	216	410	124	1.46	0.44	513.8
Sólidos Totales Fijos (mg/L)	200	264	138	1.23	0.64	393.1
Turbidez (UFT)	119	194	38	1.64	0.32	
Conductividad a 20°(µs/cm)	647	729	480	1.13	0.74	
pH	6.9	7.2	6.6	1.04	0.96	
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	199	241	140	1.21	0.70	364.8
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	65	79	48	1.22	0.74	118.3
Coliformes fecales (UFC/100mL)	5.0E+07	1.1E+08	4.0E+06	2.22	0.08	

De un primer análisis de estos resultados se extraen las siguientes conclusiones:

- ✓ Las concentraciones máximas y medias de estos contaminantes son superiores los días laborables debido a una mayor densidad de población (estudiantes) y actividad comercial y de servicios.
- ✓ Las concentraciones mínimas, y en consecuencia los coeficientes mínimos, son, en general, superiores los días de fin de semana. Esto parece lógico debido a una mayor actividad nocturna en la cuenca.
- ✓ La diferencia entre el coeficiente punta y el mínimo para cada contaminante es, en general, superior los días laborables debido a la mayor uniformidad horaria de hábitos existente estos días, destacando la DBO₅, el nitrógeno amoniacal y los coliformes fecales.

En las siguientes gráficas se pueden ver las curvas características diarias de tiempo seco de todos los parámetros básicos junto con la curva promediada de caudal. Estas curvas son el resultado de realizar la media ponderada en función del tipo de día de la semana (5 días laborables – 2 de fin de semana) de los todos los días caracterizados.

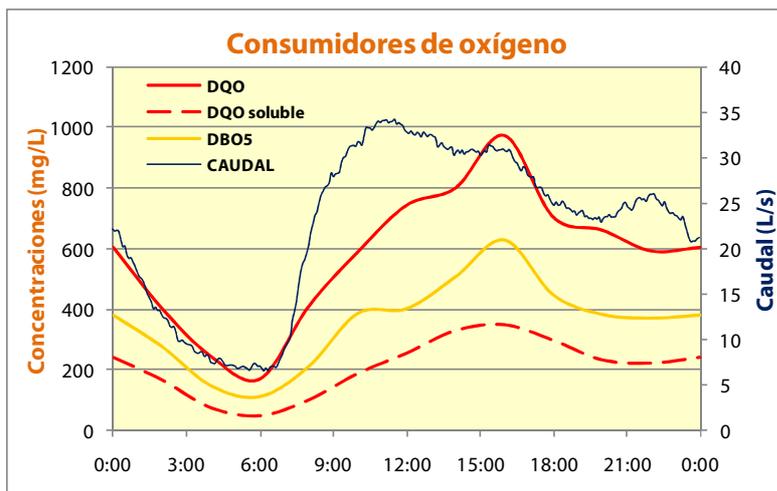


Figura 6-9. Consumidores de oxígeno (DQO, DQO soluble y DBO₅).

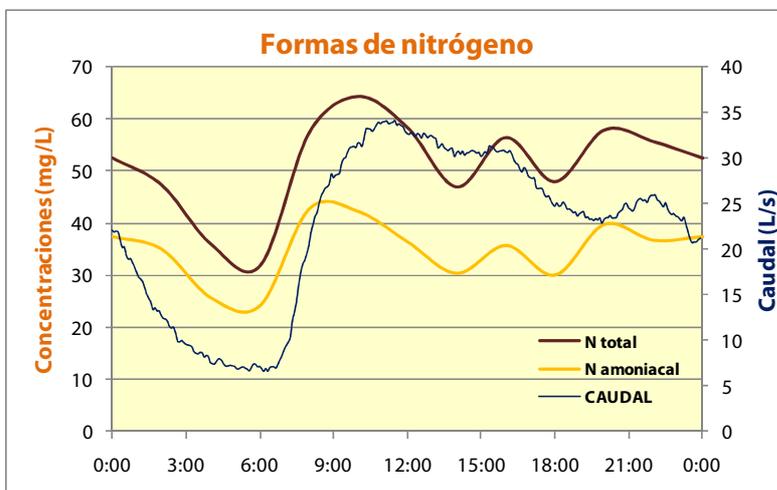


Figura 6-10. Formas de nitrógeno (total y amoniacal).

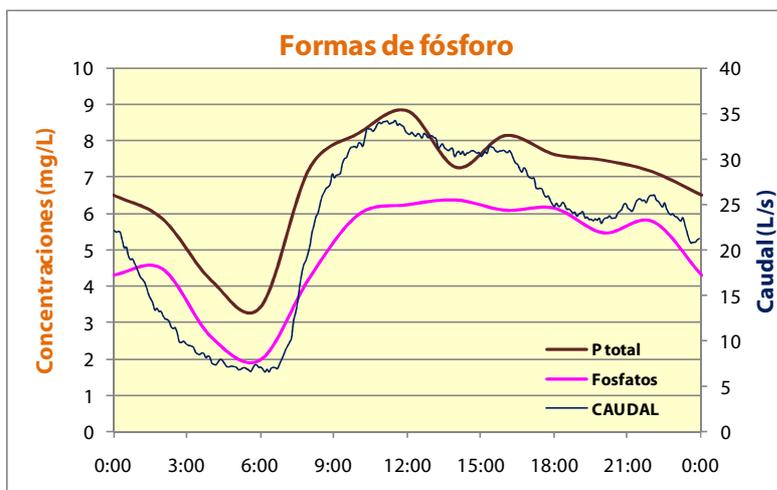


Figura 6-11. Formas de fósforo (total y fosfatos).

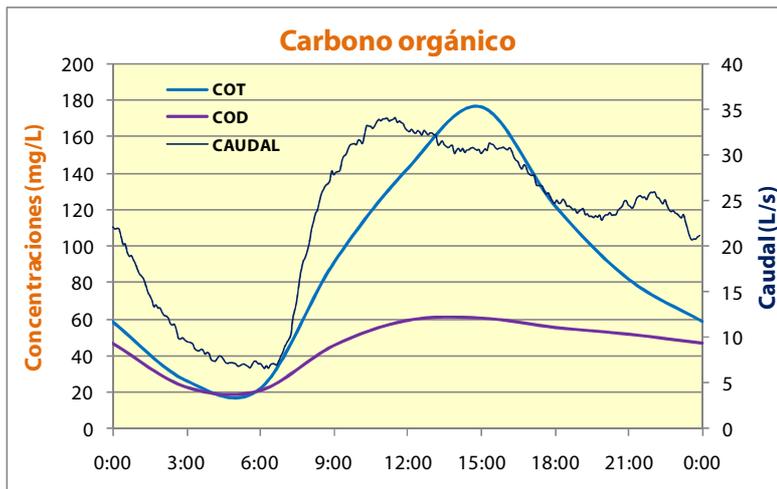


Figura 6-12. Carbono orgánico total y disuelto.

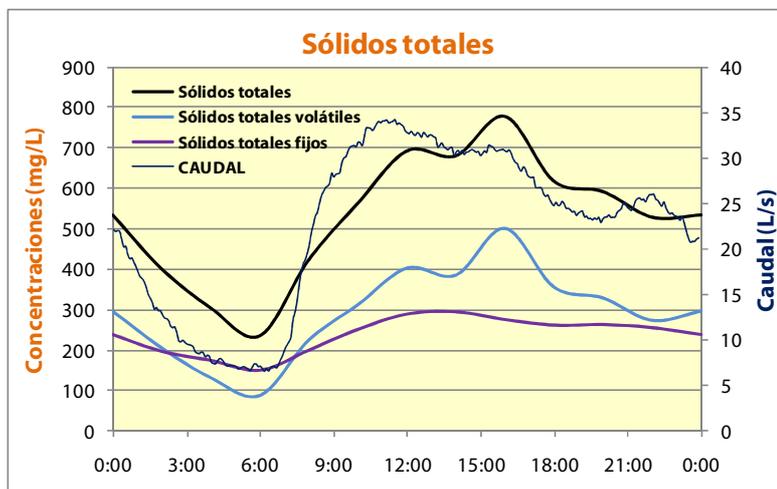


Figura 6-13. Sólidos totales, volátiles y fijos.

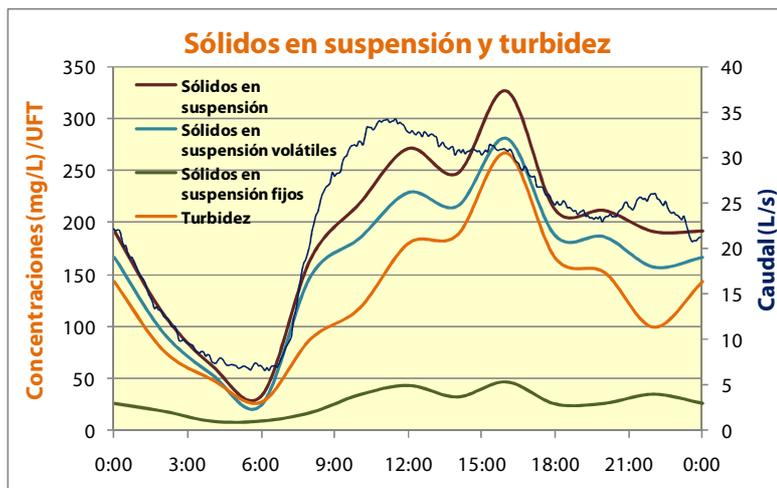


Figura 6-14. Sólidos en suspensión totales, volátiles y fijos.

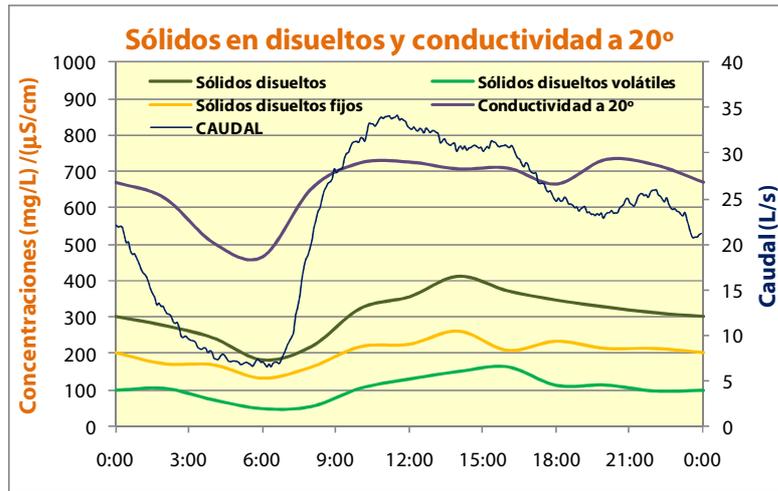


Figura 6-15. Sólidos disueltos totales, volátiles y fijos y conductividad a 20°.

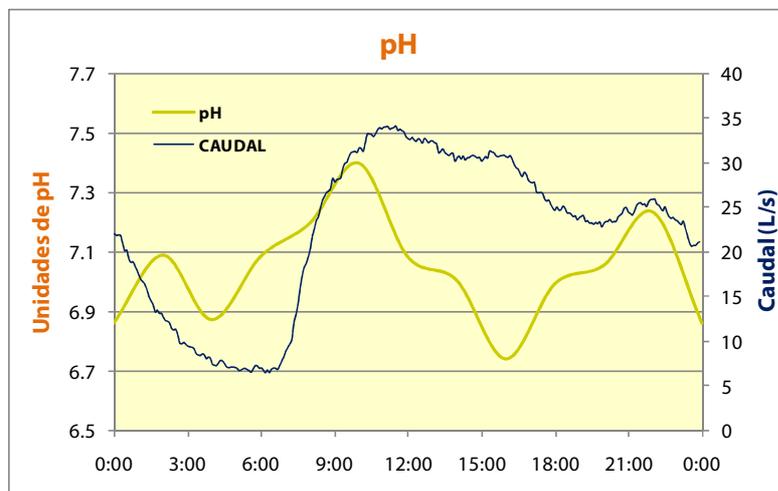


Figura 6-16. Variación diaria de pH.

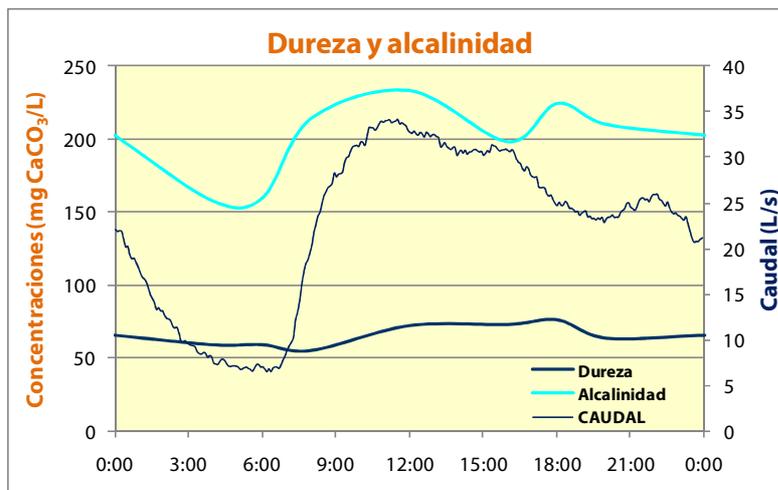


Figura 6-17. Dureza y alcalinidad.

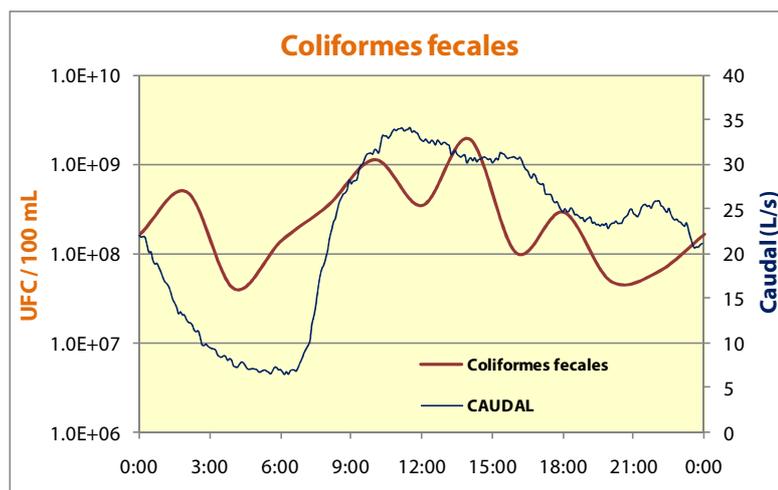


Figura 6-18. Coliformes fecales.

Del análisis de los gráficos anteriores se extraen las siguientes conclusiones principales:

- ✓ Los contaminantes asociados a la materia orgánica tienen su punta por la tarde, entre las 13:00 y las 17:00 horas. La tendencia es muy similar a la de los sólidos totales y en suspensión, esto es debido a la buena correlación con los sólidos volátiles. La punta de DQO está asociada a valores altos de DQO no soluble. Esta presencia de materia orgánica queda reflejada también en la punta de carbono orgánico total en el mismo intervalo horario.
- ✓ Las formas de nitrógeno presentan tres puntas a lo largo del día, la primera por la mañana entre las 7:30 y las 10:30 horas, la segunda entre las 15:00 y las 17:00 horas y la tercera entre las 19:30 y las 21:30. Los intervalos horarios correspondientes a la primera y tercera puntas se corresponden con puntas de pH, parámetro sensible a las concentraciones de N amoniacal junto con la conductividad, cuya tendencia diaria es muy similar pero con puntas menos acusadas.
- ✓ El fósforo total presenta dos puntas diarias, la primera por la mañana entre las 10:00 y las 12:00 horas y la segunda sobre las cuatro de la tarde.

A continuación se presenta la tabla con los valores y coeficientes característicos de la cuenca estudiada. Estos datos se obtienen de la ponderación de las concentraciones y cargas de los días caracterizados según el tipo de día de la semana (laborables y fin de semana).

Tabla 6-5. Concentraciones medias y cargas diarias de los parámetros básicos para todos los días.

PARÁMETROS BÁSICOS	TODOS	
	CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA A CAUDAL	kg/día
DQO (mg/L)	660	1371.8
DQO soluble (mg/L)	234	482.8
DBO ₅ (mg/L)	390	808.0
COT (mg/L)	105.6	211.6
COD (mg/L)	49.6	98.9
Nitrógeno total (mg/L)	55.2	114.2
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	37.4	77.1
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.29	0.6
N-NO ₂ ⁻ (mg/L)		
P total (mg/L)	7.5	15.4
Fosfatos (mg/L)	5.1	10.6
Sólidos en Suspensión (mg/L)	227	472.1
Sólidos en Suspensión Volátiles (mg/L)	197	408.3
Sólidos en Suspensión Fijos (mg/L)	30	63.7
Sólidos Disueltos (mg/L)	326	677.3
Sólidos Disueltos Volátiles (mg/L)	111	232.6
Sólidos Disueltos Fijos (mg/L)	215	444.7
Sólidos totales (mg/L)	553	1231.9
Sólidos Totales Volátiles (mg/L)	307	705.3
Sólidos Totales Fijos (mg/L)	245	526.6
Turbidez (UFT)	161	
Conductividad a 20°(µs/cm)	695	
pH	7.0	
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	212	437.1
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	67	137.3
Coliformes fecales (UFC/100mL)	3.2E+08	

Las proporciones entre parámetros básicos más relevantes se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6-6. Proporciones entre parámetros básicos en las aguas residuales de tiempo seco.

	LABORABLES	FIN DE SEMANA	MEDIA PONDERADA	Valor referencia
DQO/DBO ₅	1.75	1.51	1.68	2 - 3
DQO total / DQO soluble	3.02	2.37	2.83	
N-NH ₄ ⁺ /Ntotal	0.67	0.71	0.68	0,6 - 0,7
SSV/SS	0.85	0.91	0.87	0,7 - 0,8
SS/ST	0.42	0.37	0.41	

De la tabla anterior, cabe destacar las siguientes proporciones entre contaminantes:

- ✓ El cociente entre DQO/DBO₅ de la concentración media ponderada a caudal es de 1.69 lo que significa que es un agua muy biodegradable ya que el valor típico de este cociente para el agua residual urbana es de 2.

- ✓ Los sólidos en suspensión volátiles (SSV) representan un 87% de los sólidos en suspensión totales (SS); este dato refuerza la afirmación de la alta biodegradabilidad del agua residual de tiempo seco de la cuenca urbana.
- ✓ El cociente entre el N amoniacal y el N total equivale a 0.68, valor que está dentro del rango típico para las aguas residuales urbanas de tiempo seco.
- ✓ Los sólidos en suspensión representan en torno al 40% de los sólidos totales.

A modo de referencia, se utilizará la siguiente tabla, y se comparará con los valores medios ponderados a caudal obtenidos en la campaña de tiempo seco.

Tabla 6-7. Composición típica de agua residual doméstica bruta (Metcalf & Eddy, 1991)
(todas las unidades en mg/L menos los Sólidos Sedimentables).

CONSTITUYENTE	CONCENTRACIÓN		
	FUERTE	MEDIA	DÉBIL
SÓLIDOS TOTALES	1200	720	350
Disueltos (SD)	850	500	250
SD fijos (SDF)	525	300	145
SD volátiles (SDV)	325	200	105
En Suspensión (SS)	350	220	100
SS fijos SSF	75	55	20
SS volátiles SSV	275	165	80
SÓLIDOS SEDIMENTABLES (mL/L)	20	10	5
DBO₅	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
NITRÓGENO (total como N)	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
FÓSFORO (total como P)	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
CLORUROS	100	50	30
ALCALINIDAD (como CO₃Ca)	200	100	50
GRASA	150	100	50

Tabla 6-8. Grado de concentración del agua residual de tiempo seco en cuanto a parámetros básicos.

Parámetros básicos	CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA A CAUDAL	TIPO DE AGUA RESIDUAL
DQO (mg/L)	660	Concentración media-fuerte
DBO ₅ (mg/L)	390	Concentración fuerte
COT (mg/L)	105.6	Concentración débil-media
Nitrógeno total (mg/L)	55.2	Concentración media-fuerte
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	37.4	Concentración media-fuerte
P total (mg/L)	7.5	Concentración media
SS (mg/L)	227	Concentración media
SSV (mg/L)	197	Concentración media-fuerte
SSF (mg/L)	30	Concentración débil
SD (mg/L)	326	Concentración débil
SDV (mg/L)	111	Concentración débil
SDF (mg/L)	215	Concentración débil-media
ST (mg/L)	553	Concentración media
STV (mg/L)	307	Concentración media
STF (mg/L)	245	Concentración débil-media
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	212	Concentración fuerte

Las conclusiones que se pueden extraer son las siguientes:

- ✓ Los parámetros asociados con la materia orgánica, las formas de nitrógeno, el fósforo total y los sólidos totales, en suspensión y volátiles poseen una concentración de tipo medio o ligeramente fuerte, destacando las altas concentraciones de DBO₅ y SSV.
- ✓ Los sólidos disueltos y los fijos y el carbono orgánico total presentan una concentración débil ó débil-media.

En líneas generales puede afirmarse que el agua residual en tiempo seco de la cuenca del "Ensanche" presenta una contaminación de tipo medio con la singularidad de unas altas concentraciones de SSV y sobre todo de DBO₅.

6.2.1.1. Flujos máxicos horarios hacia EDAR

El conocimiento de los flujos máxicos horarios de los parámetros de contaminación generados en una cuenca urbana en tiempo seco es de gran utilidad para el cálculo de los coeficientes punta máxicos. Estos coeficientes punta se utilizan para el diseño de la estación depuradora teniendo en cuenta la gestión de las cargas horarias punta de los contaminantes más importantes. En el caso de un tratamiento biológico convencional es de especial importancia la carga máxica orgánica punta que se refleja en el parámetro de la DBO₅, mientras que en un tratamiento biológico con nitrificación cobra vital importancia también la carga máxica punta de los compuestos nitrogenados oxidables (NTK), que en el caso de las aguas residuales de tiempo seco de la cuenca de "Ensanche" pueden asimilarse al N total, debido a la ínfima concentración existente de nitratos y nitritos. En la tabla siguiente se presentan las cargas máxicas horarias promediadas de los parámetros básicos analizados en la cuenca así como los coeficientes punta máxicos respectivos. Estos valores

son resultado de promediar los datos de contaminación obtenidos en la cuenca en tiempo seco teniendo en cuenta los días laborables y de fin de semana (5-2).

Tabla 6-9. Cargas horarias promediadas y coeficientes punta máxicos de los parámetros básicos en tiempo seco analizados en la cuenca "Ensanche".

HORA	CAUDAL (L/s)	N total (kg/h)	N-NH ₄ ⁺ (kg/h)	DQO (kg/h)	DQO soluble (kg/h)	P total (kg/h)	Fosfatos (kg/h)	DBO ₅ (kg/h)	Sólidos Totales (kg/h)	Sólidos Totales Volátiles (kg/h)	Sólidos Totales Fijos (kg/h)	Sólidos en Suspensión (kg/h)	Sólidos en Suspensión Volátiles (kg/h)	Sólidos en Suspensión Fijos (kg/h)	Sólidos Disueltos (kg/h)	Sólidos Disueltos Volátiles (kg/h)	Sólidos Disueltos Fijos (kg/h)
0:00	20.9	3.9	2.8	45.5	18.2	0.5	0.3	28.4	37.0	19.9	17.1	14.4	12.5	2.0	22.6	7.4	15.1
2:00	12.7	2.2	1.6	18.5	7.7	0.3	0.2	12.6	17.8	9.1	8.7	5.2	4.3	0.9	12.7	4.8	7.9
4:00	8.0	1.0	0.7	7.0	2.2	0.1	0.1	4.2	8.7	3.6	5.1	1.8	1.5	0.3	6.9	2.1	4.8
6:00	7.1	0.8	0.6	4.4	1.3	0.1	0.1	2.8	5.5	1.9	3.6	0.9	0.6	0.2	4.6	1.3	3.4
8:00	20.2	4.2	3.1	30.0	7.5	0.5	0.3	15.3	27.9	14.8	13.1	12.0	10.7	1.3	15.9	4.0	11.8
10:00	31.6	7.3	4.8	67.2	21.5	0.9	0.7	43.7	61.6	32.9	28.7	24.9	21.0	3.9	36.7	11.9	24.8
12:00	33.1	7.0	4.3	88.9	30.6	1.1	0.7	47.7	74.6	42.7	32.0	32.4	27.2	5.2	42.2	15.4	26.8
14:00	30.9	5.2	3.4	89.3	36.8	0.8	0.7	56.2	73.2	40.6	32.6	27.6	24.0	3.6	45.7	16.7	29.0
16:00	30.1	6.1	3.9	105.7	37.9	0.9	0.7	67.8	75.5	47.9	27.6	35.4	30.3	5.1	40.1	17.6	22.5
18:00	25.4	4.4	2.7	64.4	27.3	0.7	0.6	40.7	50.9	27.3	23.6	19.4	17.0	2.3	31.5	10.3	21.3
20:00	23.7	4.9	3.4	56.6	20.0	0.6	0.5	32.5	46.0	25.5	20.4	18.1	15.8	2.3	27.9	9.7	18.2
22:00	24.9	5.0	3.3	53.2	20.0	0.6	0.5	33.1	45.0	22.8	22.3	17.2	14.1	3.1	27.8	8.7	19.1
0:00	20.9	3.9	2.8	45.5	18.2	0.5	0.3	28.4	37.0	19.9	17.1	14.4	12.5	2.0	22.6	7.4	15.1
COEFICIENTE PUNTA MÁXICO	1.69	1.66	2.01	1.97	1.77	1.69	2.11	1.73	1.99	1.67	2.03	2.03	2.06	1.74	1.92	1.70	1.70

De la tabla anterior es importante resaltar las siguientes conclusiones:

- ✓ La carga másica horaria punta, que se genera en torno a las 16:00 horas, de DQO, DBO₅ y de sólidos en suspensión totales y volátiles es el doble, aproximadamente, con respecto a la carga másica horaria media.
- ✓ Los flujos máxicos horarios punta de N total y amoniacal y P total, generados entre las 10:00 y las 12:00 h, son superiores en un 70 % a los flujos máxicos horarios medios.

6.2.1.2. Estimación de habitantes-equivalentes en la cuenca urbana estudiada

Generalmente, para el cálculo de los habitantes equivalentes en una cuenca urbana se toma como referencia la carga de DBO₅ generada en la misma y la dotación diaria que se asigna por habitante y día es de 60 g (Directiva 91/271/CE). No obstante, en este caso, además de la DBO₅, se tendrán en cuenta las cargas de DQO, N total y N amoniacal del agua residual generada en la cuenca en los días muestreados durante la campaña de tiempo seco. Se ha asignado una dotación por habitante y día a cada parámetro considerado en el cálculo. Los resultados se presentan a continuación.

Tabla 6-10. Cálculo de habitantes equivalentes en la cuenca urbana del "Ensanche".

PARÁMETRO	Dotación por habitante y día	LABORABLES					FIN DE SEMANA		PROMEDIO
		DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6		
		lunes	martes	martes	miércoles	jueves	domingo		
		22/09/2008	23/09/2008	30/09/2008	29/07/2009	30/07/2009	28/09/2008		
Caudal	200L	10929	10610	10255	9673	12280	9161		10296
DBO ₅	60g	14396	15512	11937	15132	16838	10226		13467
DQO	110g	13029	13234	11723	14950	17493	8433		12471
N total	12g	9574	9933	9767	10851	12237	7126		9516
N amoniacal	8g	9388	8921	10770	11261	12016	7553		9638

Las dotaciones diarias asignadas para cada parámetro considerado para la estimación de los habitantes equivalentes pueden verse en la tabla anterior.

Cabe destacar que el número de habitantes equivalentes resultantes por carga de DBO₅ y DQO para los días laborables son similares y superiores a los obtenidos mediante el caudal, el N total y el amoniacal. Por otro lado, en el fin de semana el resultado es menor para todos los parámetros así como las diferencias entre ellos; esto parece lógico, ya que el fin de semana existe un menor dinamismo en la cuenca debido a la ausencia de universitarios y de actividad comercial y de servicios existentes en los días laborables.

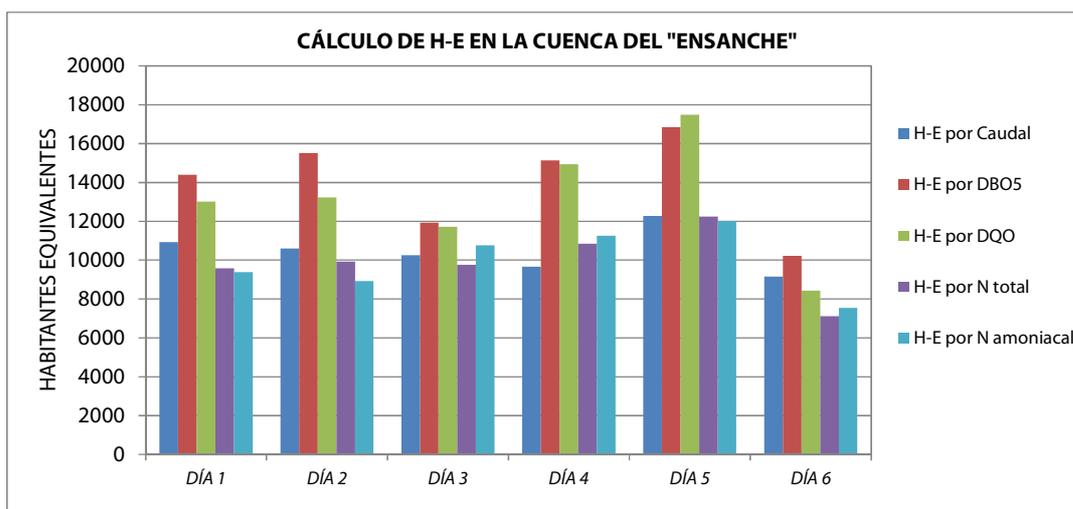


Figura 6-19. Habitantes equivalentes en los días muestreados en función de los parámetros de cálculo considerados.

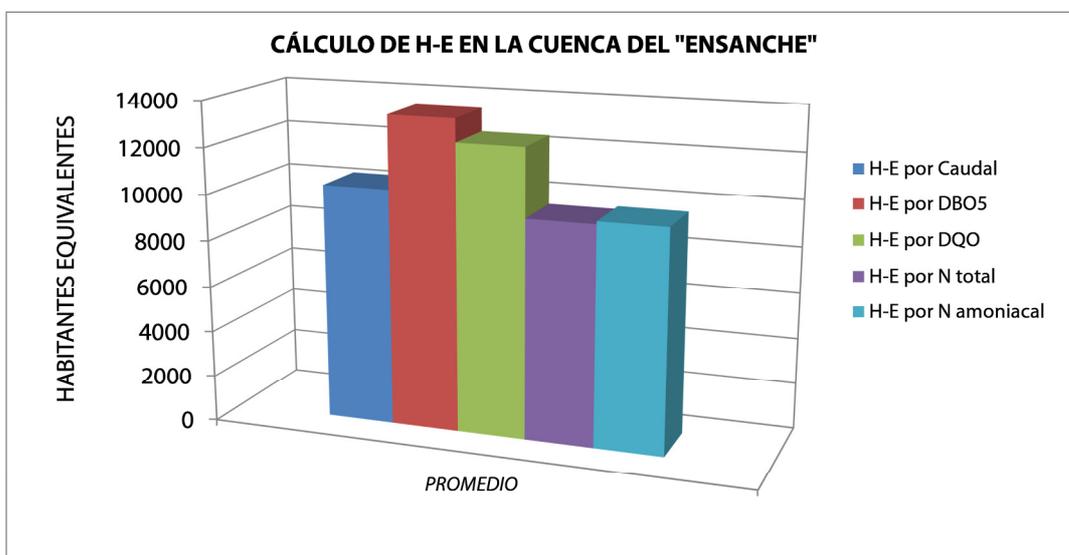


Figura 6-20. Habitantes equivalentes en la cuenca en función de los parámetros de cálculo considerados.

La estimación promedio de los habitantes equivalentes en la cuenca del Ensanche oscila en función del parámetro de cálculo considerado entre los 9.500 y los 13.500 habitantes.

Conforme a la citada Directiva 91/271/CE de depuración de aguas residuales urbanas se tendrá en cuenta la carga diaria de DBO₅ (dotación diaria de 60 g/hab) para fijar el número promedio de habitantes equivalentes en la cuenca del "Ensanche" que se estima en unos 13.000.

6.2.2. Metales, cationes y aniones

6.2.2.1. Metales

El esquema de análisis es el mismo que se ha aplicado a los parámetros básicos. En primer lugar se presentan las tablas correspondientes a los valores y coeficientes característicos de los días laborables y de los de fin de semana.

Tabla 6-11. Valores y coeficientes característicos de metales para los días laborables.

Metales	LABORABLES					
	CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA A CAUDAL	CONCENTRACIÓN MÁXIMA	CONCENTRACIÓN MÍNIMA	Coefficiente punta	Coefficiente de mínimos	g/día
Aluminio total (mg/L)	2.40	3.61	0.92	1.51	0.38	5100
Aluminio particulado (mg/L)	2.35	3.51	0.89	1.50	0.38	4979
Aluminio disuelto (mg/L)	0.06	0.11	0.02	1.92	0.44	121
Bario total (µg/L)	70.0	95.0	44.3	1.36	0.63	148.4
Bario particulado (µg/L)	29.2	46.9	12.4	1.60	0.42	59.4
Bario disuelto (µg/L)	40.8	48.1	31.9	1.18	0.78	89.0
Cadmio total (µg/L)	0.24	0.37	0.11	1.55	0.44	0.50
Cadmio particulado (µg/L)	0.22	0.34	0.11	1.54	0.48	0.47
Cadmio disuelto (µg/L)	0.02	0.03	0	1.68	0.00	0.04
Cromo total (µg/L)	3.8	5.8	1.5	1.51	0.40	8.1
Cromo particulado (µg/L)	3.3	5.0	1.3	1.50	0.39	7.0
Cromo disuelto (µg/L)	0.5	0.8	0.2	1.62	0.44	1.1
Cobalto total (µg/L)	1.33	2.09	0.74	1.57	0.55	2.8
Cobalto particulado (µg/L)	0.50	0.51	0.19	1.00	0.37	1.0
Cobalto disuelto (µg/L)	0.83	1.59	0.55	1.91	0.67	1.8
Cobre total (µg/L)	220.3	319.9	84.7	1.45	0.38	456
Cobre particulado (µg/L)	209.8	304.2	80.9	1.45	0.39	433
Cobre disuelto (µg/L)	10.4	15.7	3.8	1.51	0.36	23
Hierro total (mg/L)	1.02	1.59	0.41	1.56	0.40	2154
Hierro particulado (mg/L)	0.94	1.49	0.37	1.57	0.39	1995
Hierro disuelto (mg/L)	0.07	0.10	0.04	1.39	0.58	159
Mercurio total (µg/L)	0.91	1.56	0.12	1.71	0.13	2.00
Mercurio particulado (µg/L)	0.90	1.51	0.12	1.68	0.13	1.98
Mercurio disuelto (µg/L)	0.01	0.04	0	4.59	0.00	0.02
Manganeso total (µg/L)	86.1	122.6	56.1	1.43	0.65	183
Manganeso particulado (µg/L)	51.3	61.9	35.0	1.21	0.68	107
Manganeso disuelto (µg/L)	34.8	60.8	21.1	1.75	0.61	76
Níquel total (µg/L)	4.3	5.9	2.2	1.38	0.51	9.06
Níquel particulado (µg/L)	2.2	3.1	0.7	1.44	0.31	4.45
Níquel disuelto (µg/L)	2.1	2.8	1.5	1.31	0.72	4.61
Plomo total (µg/L)	67.8	101.3	21.0	1.49	0.31	142.8
Plomo particulado (µg/L)	64.2	95.8	19.4	1.49	0.30	134.9
Plomo disuelto (µg/L)	3.6	5.5	1.6	1.54	0.44	7.9
Zinc total (µg/L)	158.2	222.7	58.8	1.41	0.37	337
Zinc particulado (µg/L)	128.4	172.6	44.5	1.34	0.35	270
Zinc disuelto (µg/L)	29.8	50.1	14.3	1.68	0.48	67
Arsénico total (µg/L)	3.01	4.25	1.81	1.41	0.60	6.47
Arsénico particulado (µg/L)	1.53	2.30	0.75	1.51	0.49	3.16
Arsénico disuelto (µg/L)	1.49	1.95	1.06	1.31	0.71	3.31
Berilio total (µg/L)	0	0	0			0
Berilio particulado (µg/L)	0	0	0			0
Berilio disuelto (µg/L)	0	0	0			0
Boro total (µg/L)	101.1	182.2	48.7	1.80	0.48	215.7
Boro particulado (µg/L)	44.7	89.8	17.1	2.01	0.38	92.6
Boro disuelto (µg/L)	56.4	92.3	31.6	1.64	0.56	123.0
Molibdeno total (µg/L)	0.78	1.16	0.40	1.48	0.51	1.7
Molibdeno particulado (µg/L)	0.53	0.81	0.28	1.52	0.53	1.1
Molibdeno disuelto (µg/L)	0.25	0.35	0.12	1.39	0.47	0.6
Selenio total (µg/L)	0	0	0			0
Selenio particulado (µg/L)	0	0	0			0
Selenio disuelto (µg/L)	0	0	0			0
Silicio total (mg/L)	9.3	11.1	6.9	1.19	0.74	20024
Silicio particulado (mg/L)	5.2	6.0	3.9	1.17	0.76	11255
Silicio disuelto (mg/L)	4.2	5.1	3.0	1.22	0.72	8768
Vanadio total (µg/L)	1.73	3.09	0.77	1.78	0.45	3.7
Vanadio particulado (µg/L)	1.33	2.49	0.50	1.88	0.38	2.8
Vanadio disuelto (µg/L)	0.40	0.59	0.27	1.47	0.67	0.9

Tabla 6-12. Valores y coeficientes característicos de metales para los días de fin de semana.

Metales	FIN DE SEMANA					
	CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA A CAUDAL	CONCENTRACIÓN MÁXIMA	CONCENTRACIÓN MÍNIMA	Coefficiente punta	Coefficiente de mínimos	g/día
Aluminio total (mg/L)	1.73	3.74	0.26	2.16	0.15	3174
Aluminio particulado (mg/L)	1.73	3.73	0.25	2.16	0.15	3168
Aluminio disuelto (mg/L)	0.003	0.006	0.001	1.95	0.40	5
Bario total (µg/L)	38.8	78.4	18.2	2.02	0.47	71.1
Bario particulado (µg/L)	30.0	67.1	14.5	2.24	0.48	55.0
Bario disuelto (µg/L)	8.8	11.3	3.7	1.29	0.42	16.1
Cadmio total (µg/L)	0.24	0.32	0.16	1.36	0.68	0.43
Cadmio particulado (µg/L)	0.24	0.32	0.16	1.36	0.68	0.43
Cadmio disuelto (µg/L)	0	0	0			0.00
Cromo total (µg/L)	2.2	5.4	0.0	2.44	0.00	4.1
Cromo particulado (µg/L)	2.2	5.4	0.0	2.44	0.00	4.1
Cromo disuelto (µg/L)	0.0	0.0	0.0			0.0
Cobalto total (µg/L)	1.11	2.89	0.55	2.59	0.49	2.0
Cobalto particulado (µg/L)	0.94	2.46	0.47	2.61	0.49	1.7
Cobalto disuelto (µg/L)	0.17	0.43	0.09	2.48	0.49	0.3
Cobre total (µg/L)	190.4	483.4	39.1	2.54	0.21	349
Cobre particulado (µg/L)	188.3	480.4	38.4	2.55	0.20	345
Cobre disuelto (µg/L)	2.1	3.1	0.7	1.44	0.32	4
Hierro total (mg/L)	0.55	1.05	0.22	1.91	0.41	1003
Hierro particulado (mg/L)	0.53	1.03	0.21	1.92	0.40	978
Hierro disuelto (mg/L)	0.01	0.02	0.01	1.45	0.79	25
Mercurio total (µg/L)	0.32	1.07	0.00	3.31	0.00	0.59
Mercurio particulado (µg/L)	0.32	1.07	0.00	3.31	0.00	0.59
Mercurio disuelto (µg/L)	0.00	0.00	0			0.00
Manganeso total (µg/L)	80.0	135.6	48.0	1.70	0.60	147
Manganeso particulado (µg/L)	71.3	119.0	43.1	1.67	0.60	131
Manganeso disuelto (µg/L)	8.7	16.5	4.9	1.90	0.56	16
Níquel total (µg/L)	3.7	6.4	1.3	1.71	0.36	6.85
Níquel particulado (µg/L)	3.3	5.8	1.1	1.78	0.33	5.96
Níquel disuelto (µg/L)	0.5	0.6	0.2	1.23	0.50	0.89
Plomo total (µg/L)	38.7	66.6	5.5	1.72	0.14	71.0
Plomo particulado (µg/L)	38.1	65.5	5.4	1.72	0.14	69.8
Plomo disuelto (µg/L)	0.7	1.1	0.1	1.61	0.17	1.2
Zinc total (µg/L)	111.2	221.1	24.9	1.99	0.22	204
Zinc particulado (µg/L)	104.7	209.8	24.9	2.00	0.24	192
Zinc disuelto (µg/L)	6.6	11.2	0.0	1.71	0.00	12
Arsénico total (µg/L)	3.15	5.50	1.86	1.75	0.59	5.77
Arsénico particulado (µg/L)	2.73	4.98	1.57	1.82	0.58	5.00
Arsénico disuelto (µg/L)	0.42	0.52	0.29	1.24	0.69	0.77
Berilio total (µg/L)	0	0	0			0
Berilio particulado (µg/L)	0	0	0			0
Berilio disuelto (µg/L)	0	0	0			0
Boro total (µg/L)	102.5	176.4	52.7	1.72	0.51	187.8
Boro particulado (µg/L)	87.3	154.8	46.9	1.77	0.54	159.9
Boro disuelto (µg/L)	15.2	21.7	5.8	1.42	0.38	27.9
Molibdeno total (µg/L)	1.03	1.57	0.55	1.52	0.53	1.9
Molibdeno particulado (µg/L)	0.97	1.42	0.55	1.47	0.57	1.8
Molibdeno disuelto (µg/L)	0.07	0.15	0.00	2.23	0.00	0.1
Selenio total (µg/L)	0	0	0			0
Selenio particulado (µg/L)	0	0	0			0
Selenio disuelto (µg/L)	0	0	0			0
Silicio total (mg/L)	7.3	10.3	5.2	1.41	0.71	13382
Silicio particulado (mg/L)	2.5	4.8	1.6	1.94	0.66	4549
Silicio disuelto (mg/L)	4.8	5.5	3.5	1.13	0.73	8832
Vanadio total (µg/L)	0.96	1.86	0.33	1.94	0.35	1.8
Vanadio particulado (µg/L)	0.90	1.79	0.29	1.99	0.32	1.6
Vanadio disuelto (µg/L)	0.06	0.07	0.04	1.20	0.67	0.1

En las siguientes gráficas se pueden ver las curvas características de tiempo seco de los metales analizados.

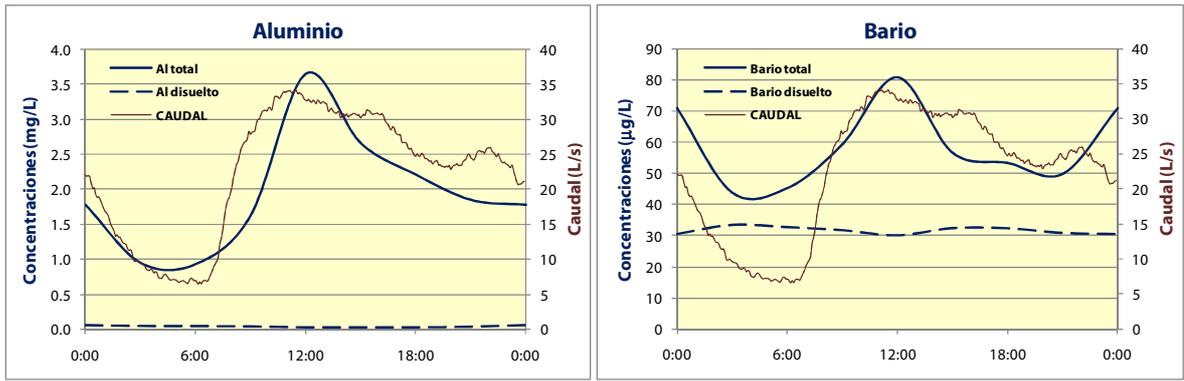


Figura 6-21. Polutograma diario de tiempo seco de aluminio y bario.

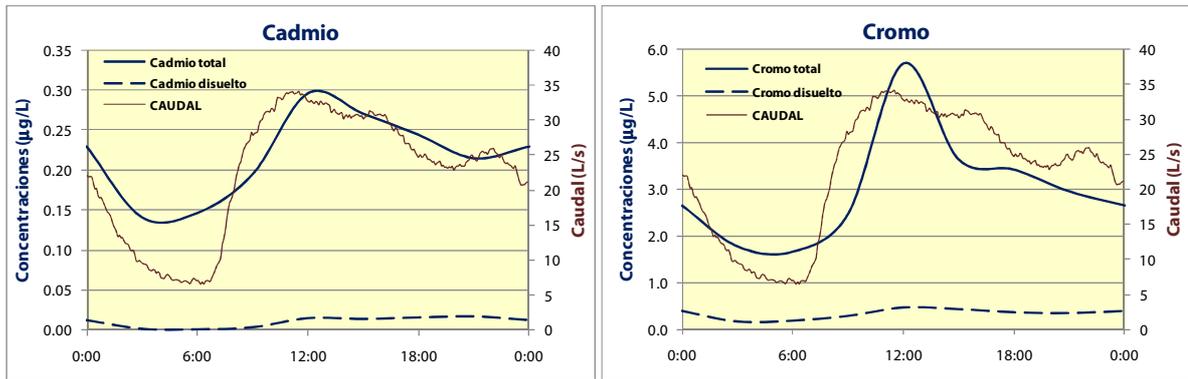


Figura 6-22. Polutograma diario de tiempo seco de cadmio y cromo.

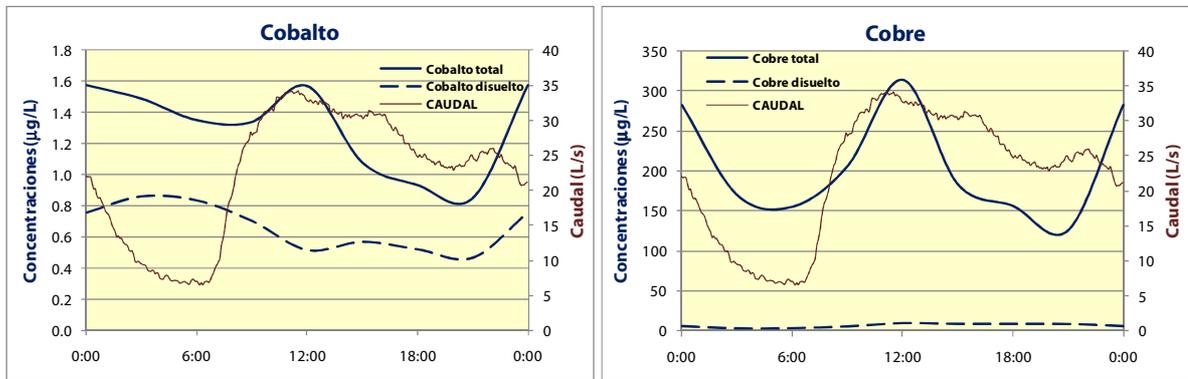


Figura 6-23. Polutograma diario de tiempo seco de cobalto y cobre.

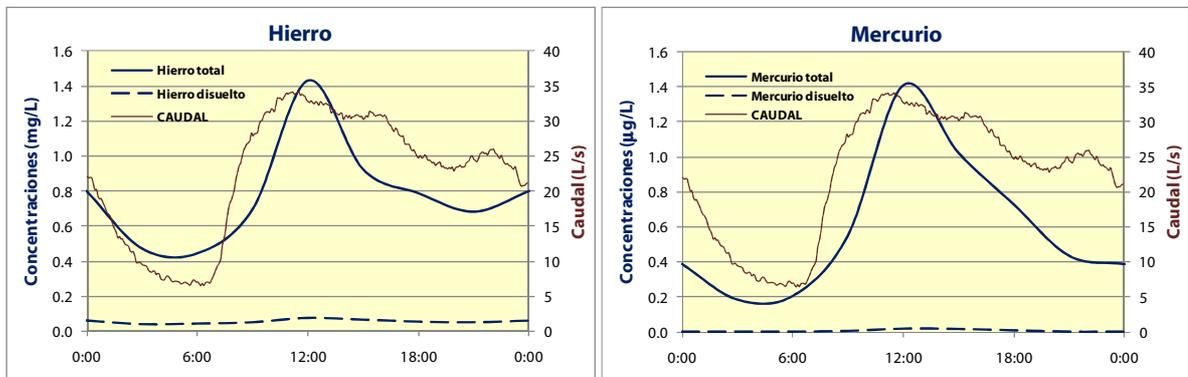


Figura 6-24. Polutograma diario de tiempo seco de hierro y mercurio.

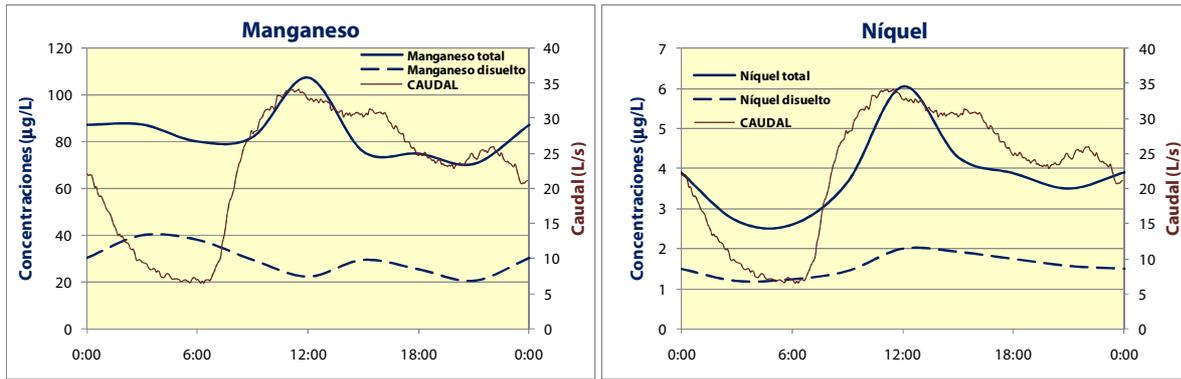


Figura 6-25. Polutograma diario de tiempo seco de manganeso y níquel.

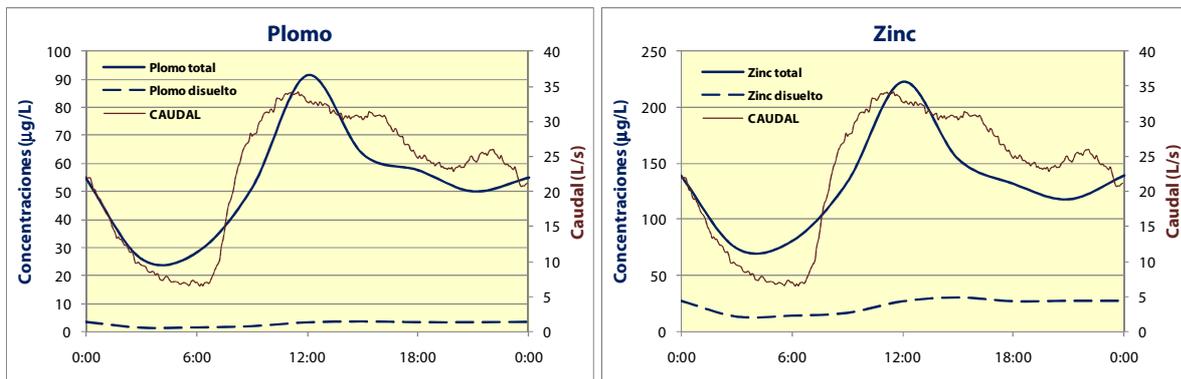


Figura 6-26. Polutograma diario de tiempo seco de plomo y zinc.

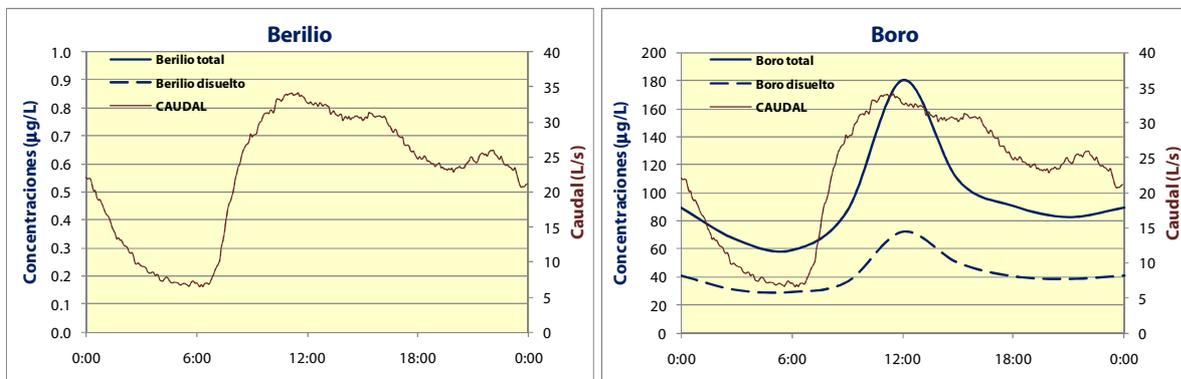


Figura 6-27. Polutograma diario de tiempo seco de berilio y boro.

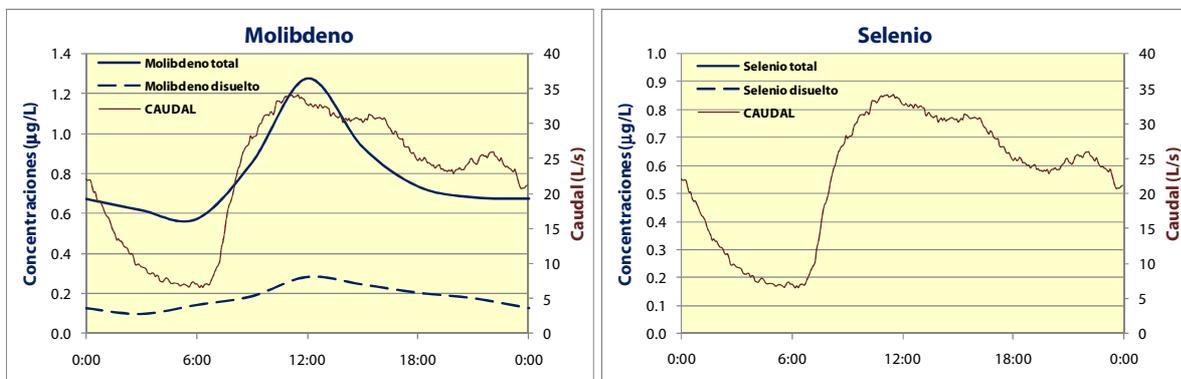


Figura 6-28. Polutograma diario de tiempo seco de molibdeno y selenio.

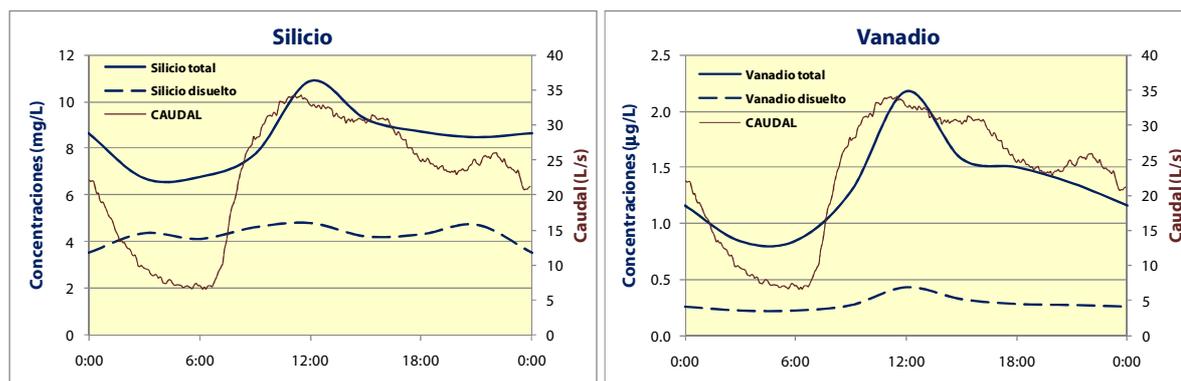


Figura 6-29. Polutograma diario de tiempo seco de silicio y vanadio.

Del análisis de los gráficos anteriores se extrae la conclusión de que la punta de los metales se produce en torno a las doce del mediodía coincidiendo con la primera punta diaria de sólidos totales y en suspensión. Si se analiza la variación de concentraciones de los metales medidos con respecto a la media diaria durante los días de tiempo seco muestreados esta característica se aprecia con nitidez.

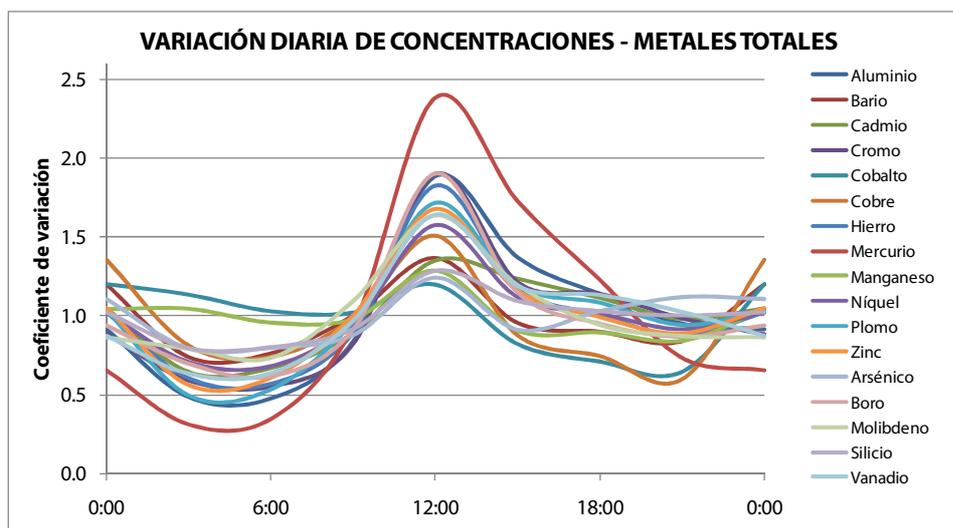


Figura 6-30. Variación diaria de los metales totales.

Es de resaltar que tanto el cobalto como el manganeso apenas descienden su concentración nocturna, en el caso del manganeso este comportamiento coincide con los resultados obtenidos durante la caracterización de tiempo seco de otra subcuenca de Santiago de Compostela ("Cancelón") presentados en la tesis de Beneyto en 2004.

La variación de concentración diaria de los metales analizados se debe principalmente al comportamiento de la fase particulada puesto que la concentración de los metales en fase disuelta sufre una variación menor a lo largo del día, exceptuando el caso del mercurio. Esto puede apreciarse en las gráficas siguientes en las que los coeficientes punta y de mínimos tienen valores más extremos para la fracción particulada de los metales; este comportamiento también coincide con el presentado por Beneyto en su tesis.

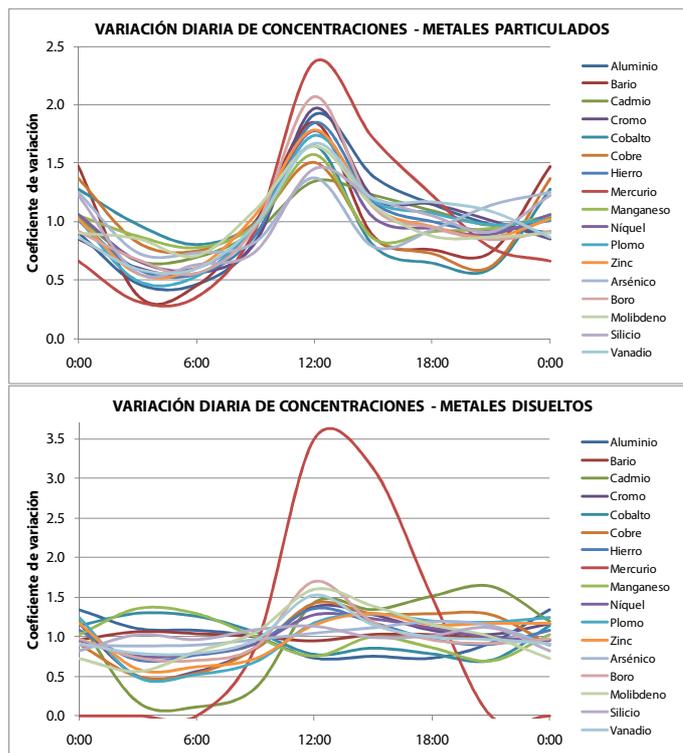


Figura 6-31. Variación diaria de los metales en fase particulada (arriba) y disuelta (abajo).

Los resultados promedios obtenidos en la cuenca han sido los siguientes.

Tabla 6-13. Concentraciones medias y cargas diarias de los metales totales para todos los días.

Metales	TODOS	
	CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA A CAUDAL	g/día
Aluminio total (mg/L)	2.21	4550
Bario total (µg/L)	61.1	126.3
Cadmio total (µg/L)	0.24	0.48
Cromo total (µg/L)	3.4	7.0
Cobalto total (µg/L)	1.27	2.6
Cobre total (µg/L)	211.7	425
Hierro total (mg/L)	0.88	1825
Mercurio total (µg/L)	0.74	1.60
Manganeso total (µg/L)	84.3	173
Níquel total (µg/L)	4.1	8.43
Plomo total (µg/L)	59.5	122.3
Zinc total (µg/L)	144.8	299
Arsénico total (µg/L)	3.05	6.27
Berilio total (µg/L)	0	0
Boro total (µg/L)	101.5	207.7
Molibdeno total (µg/L)	0.86	1.7
Selenio total (µg/L)	0	0
Silicio total (mg/L)	8.7	18126
Vanadio total (µg/L)	1.51	3.1

La distribución por fases para cada metal se presenta en la siguiente figura:

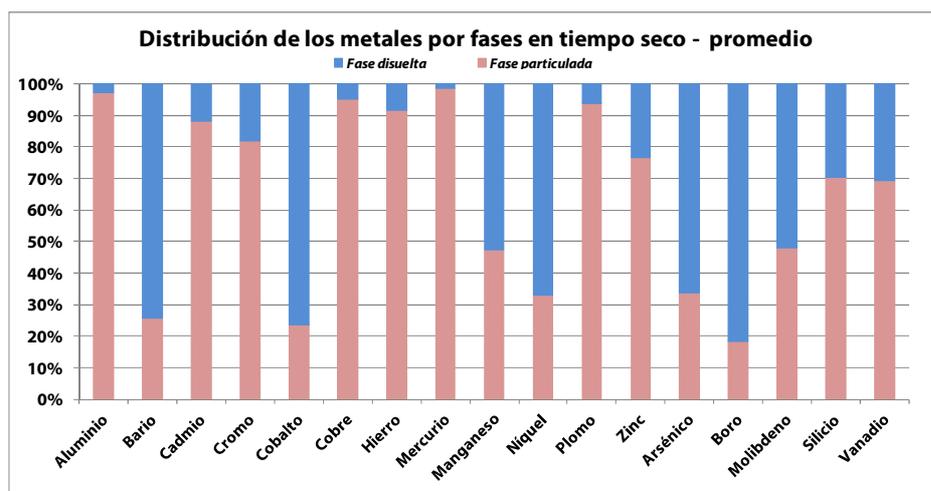


Figura 6-32. Distribuciones de metales por fases en tiempo seco.

Analizando la figura anterior, se extraen las siguientes conclusiones:

- ✓ Los metales que se presentan prácticamente en su totalidad en fase particulada son el aluminio, cobre, hierro, mercurio y plomo.
- ✓ El cadmio, cromo, zinc, silicio y vanadio aparecen mayoritariamente en fase particulada.
- ✓ En el caso del manganeso y el molibdeno la fase disuelta es ligeramente mayoritaria, mientras que para el bario, cobalto, níquel, arsénico y boro predomina claramente la fase en disolución.

A continuación, se comparan los valores de las concentraciones totales de metales que se han obtenido con valores típicos de aguas residuales, para lo cual se utiliza la siguiente tabla.

Tabla 6-14. Contenido típico en metales de aguas residuales (Henze, 1995).

Parámetros	Tipo de agua residual			
	Concentrada	Moderada	Diluida	Muy diluida
Aluminio (µg/L)	1000	650	400	250
Arsénico (µg/L)	5	3	2	1
Cadmio (µg/L)	4	2	2	1
Cromo (µg/L)	40	25	15	10
Cobalto (µg/L)	2	1	1	0.5
Cobre (µg/L)	100	70	40	30
Hierro (µg/L)	1500	1000	600	400
Plomo (µg/L)	80	65	30	25
Manganeso (µg/L)	150	100	60	40
Mercurio (µg/L)	3	2	1	1
Níquel (µg/L)	40	25	15	10
Plata (µg/L)	10	7	4	3
Zinc (µg/L)	300	200	130	80

Si se comparan los valores obtenidos en la cuenca estudiada con los de la tabla anterior se llega a las siguientes conclusiones.

Tabla 6-15. Grado de concentración en metales de las aguas residuales urbanas de la cuenca "Ensanche".

Metales	CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA A CAUDAL	TIPO DE AGUA RESIDUAL
Aluminio total (mg/L)	2	Muy concentrada
Cadmio total (µg/L)	0.2	Muy diluida
Cromo total (µg/L)	3	Muy diluida
Cobalto total (µg/L)	1	Moderada
Cobre total (µg/L)	212	Muy concentrada
Hierro total (mg/L)	1	Moderada
Mercurio total (µg/L)	1	Diluida
Manganeso total (µg/L)	84	Diluida-moderada
Níquel total (µg/L)	4	Muy diluida
Plomo total (µg/L)	59	Moderada
Zinc total (µg/L)	145	Diluida
Arsénico total (µg/L)	3	Moderada

- ✓ El aluminio y el cobre presentan una concentración muy alta.
- ✓ Los valores de cobalto, hierro, manganeso, plomo y arsénico se consideran medios.
- ✓ Para el caso del cadmio, cromo, mercurio, níquel y zinc las concentraciones son bajas o muy bajas.

Exceptuando los casos del aluminio y el cobre, las aguas residuales urbanas de tiempo seco de la cuenca pueden considerarse con un contenido en metales medio-bajo.

6.2.2.2. Cationes y aniones

Los cationes estudiados se presentan prácticamente en su totalidad en fase disuelta a excepción del calcio cuyo comportamiento es similar al de los metales y, por ello, se exponen los resultados obtenidos para cada fase.

Las tablas correspondientes a los valores y coeficientes característicos de los días laborables y de los de fin de semana son las siguientes.

Tabla 6-16. Valores y coeficientes característicos de cationes y aniones para los días laborables.

Cationes y Aniones	LABORABLES					
	CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA A CAUDAL	CONCENTRACIÓN MÁXIMA	CONCENTRACIÓN MÍNIMA	Coefficiente punta	Coefficiente de mínimos	kg/día
Na ⁺ (mg/L)	64.8	78.9	40.4	1.22	0.62	138.3
K ⁺ (mg/L)	19.6	23.5	13.1	1.20	0.67	41.6
Ca ²⁺ total (mg/L)	20.6	24.8	15.7	1.20	0.76	43.3
Ca ²⁺ disuelto (mg/L)	12.4	16.8	10.0	1.35	0.80	26.4
Mg ²⁺ (mg/L)	4.9	5.4	4.4	1.10	0.90	10.5
Fluoruros (µg/L)	37.0	46.0	33.0	1.24	0.89	
Cloruros (mg/L)	60.8	84.3	41.1	1.39	0.68	
Cianuros (µg/L)	14.3	35.7	0	2.50	0.00	

Tabla 6-17. Valores y coeficientes característicos de cationes y aniones para los días de fin de semana.

Cationes y Aniones	FIN DE SEMANA					
	CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA A CAUDAL	CONCENTRACIÓN MÁXIMA	CONCENTRACIÓN MÍNIMA	Coficiente punta	Coficiente de mínimos	kg/día
Na ⁺ (mg/L)	69.6	96.1	40.8	1.38	0.59	127.5
K ⁺ (mg/L)	18.8	22.0	14.0	1.17	0.74	34.4
Ca ²⁺ total (mg/L)	19.3	23.3	13.9	1.21	0.72	35.3
Ca ²⁺ disuelto (mg/L)	12.8	18.8	10.6	1.47	0.83	23.5
Mg ²⁺ (mg/L)	4.7	5.9	3.7	1.26	0.79	8.6
Fluoruros (µg/L)	33.6	35.0	31.0	1.04	0.92	
Cloruros (mg/L)	48.9	57.7	31.7	1.18	0.65	
Cianuros (µg/L)	10.8	17.2	0	1.59	0.00	

En las siguientes gráficas se pueden ver las curvas características de tiempo seco de los cationes y aniones analizados.

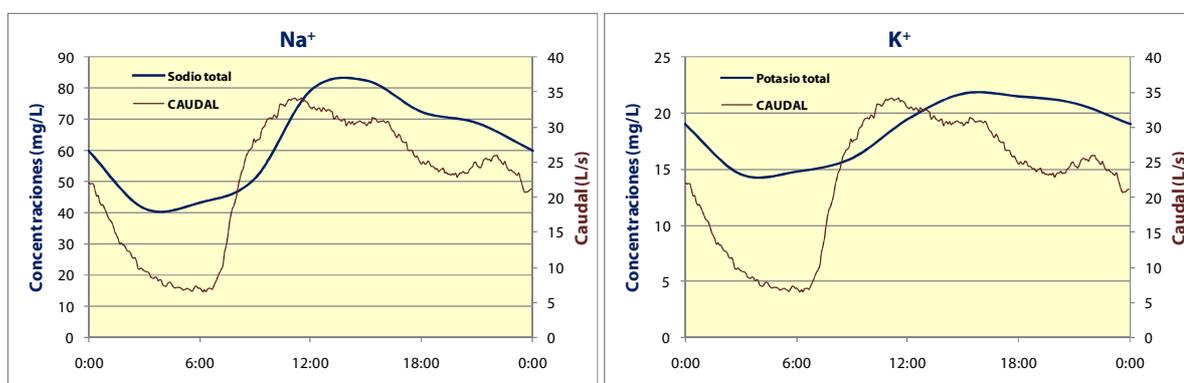


Figura 6-33. Polutograma diario de tiempo seco de sodio y potasio.

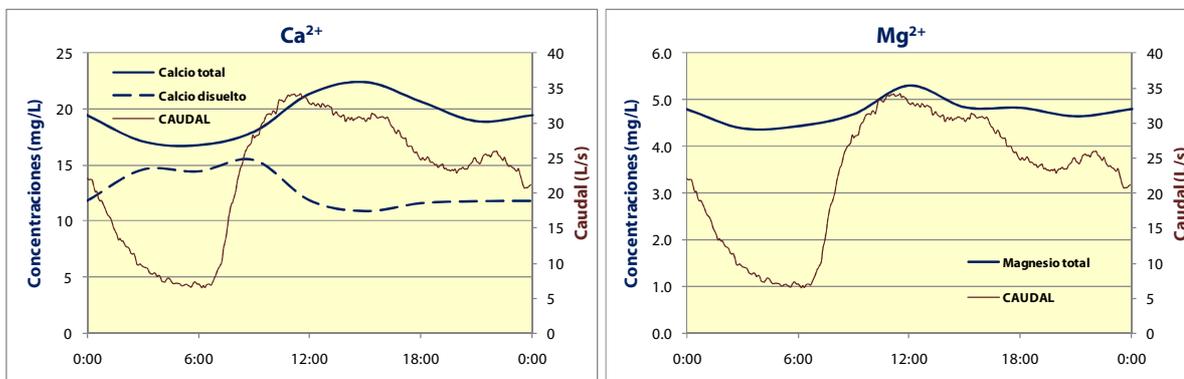


Figura 6-34. Polutograma diario de tiempo seco de calcio y magnesio.

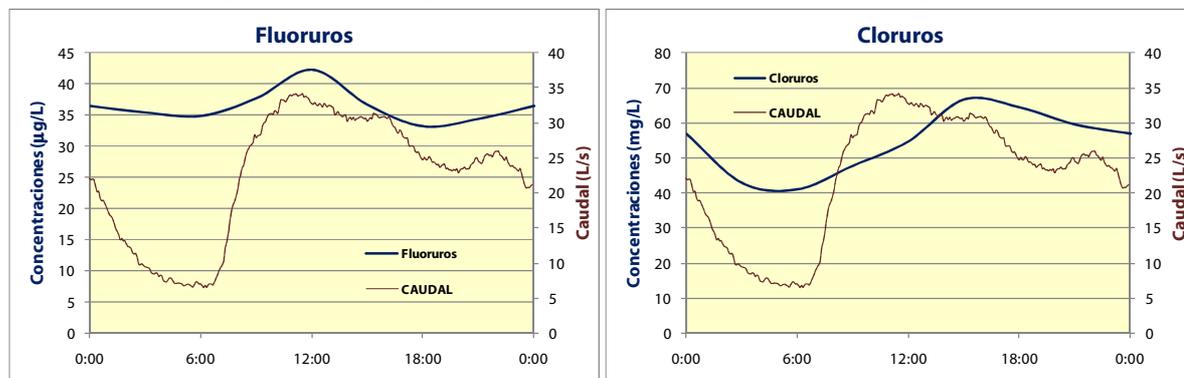


Figura 6-35. Polutograma diario de tiempo seco de fluoruros y cloruros.

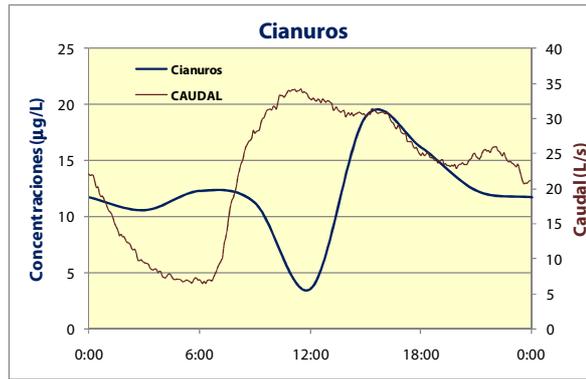


Figura 6-36. Polutograma diario de tiempo seco de cianuros.

La punta diaria de concentración en el caso de los cationes Na^+ y Ca^{2+} se sitúa entre las 12:00 y las 16:00 horas, para el K^+ existe una punta tenue por la tarde a las 16:00, mientras que al mediodía el Mg^{2+} presenta su valor máximo diario.

En el caso de los aniones los fluoruros sufren una variación diaria similar a la del magnesio y los cloruros a la del potasio. Los cianuros presentan una punta a las 16:00 horas y un valor mínimo a mediodía.

La variación diaria de los cationes con respecto al valor medio ponderado a caudal se presenta en la siguiente figura.

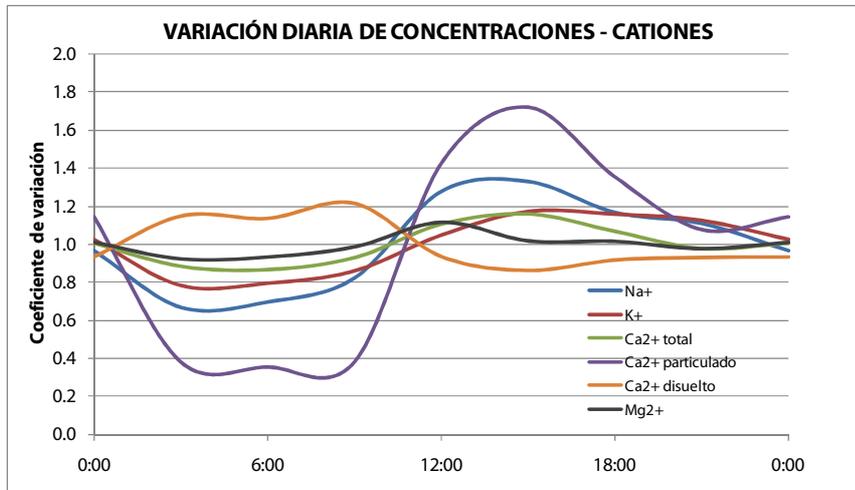


Figura 6-37. Variación diaria de los cationes analizados.

Se observa que el comportamiento del calcio particulado es similar, como ya se ha comentado, al de los metales en forma particulada analizados en el apartado anterior, con una importante diferencia entre el coeficiente punta y el de mínimos. Sin embargo, el resto de cationes incluido el calcio disuelto, sufren una variación diaria menor en concordancia con la fase disuelta de los metales.

Tabla 6-18. Concentraciones medias y cargas diarias de los cationes y aniones para todos los días.

Cationes y Aniones	TODOS	
	CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA A CAUDAL	kg/día
Na ⁺ (mg/L)	66.2	135.3
K ⁺ (mg/L)	19.3	39.5
Ca ²⁺ total (mg/L)	20.2	41.0
Ca ²⁺ disuelto (mg/L)	12.5	25.5
Mg ²⁺ (mg/L)	4.8	10.0
Fluoruros (µg/L)	36.0	
Cloruros (mg/L)	57.4	
Cianuros (µg/L)	13.3	

A modo de valoración cualitativa de los resultados obtenidos en las campañas de tiempo seco se presentan las siguientes tablas de concentraciones de cationes y aniones en aguas.

Tabla 6-19. Incrementos típicos de la concentración de minerales por los usos domésticos del agua (adaptada de Metcalf & Eddy, 1991).

Constituyente	Intervalo de incremento (mg/L)
Sodio (Na ⁺)	40 – 70
Potasio (K ⁺)	7 – 15
Calcio (Ca ²⁺)	6 – 16
Magnesio (Mg ²⁺)	4 – 10
Flúor	0.2 – 0.4
Cloruros	20 – 50

Los valores de la tabla anterior son incrementos debidos al uso doméstico del agua de abastecimiento la cual contiene una determinada concentración de cationes y aniones previa a su utilización. En el Real Decreto 140/2003 se establecen los requisitos de calidad del agua potable entre los que se encuentran las concentraciones máximas admisibles de los aniones analizados y del sodio que se presentan a continuación.

Tabla 6-20. Concentraciones máximas admitidas para el agua potable (R.D. 140/2003).

Parámetro	Valor paramétrico
Sodio	200 mg/L
Fluoruros	1.5 mg/L
Cloruros	250 mg/L
Cianuros	50 µg/L

Del análisis de las tres tablas anteriores se extraen las siguientes conclusiones:

- ✓ En primer lugar, las concentraciones de los cationes analizados se sitúan próximas al intervalo de incremento por uso doméstico. Esto es lógico puesto que la naturaleza “blanda” del agua potable en Galicia es bien conocida debido a la composición granítica de los suelos, por ello las concentraciones de minerales disueltos como el Ca²⁺ y el Mg²⁺ (parámetros indicadores de la dureza del agua) son bajas.

- ✓ Por otro lado, en cuanto a los aniones estudiados, puede afirmarse que presentan unas concentraciones poco significativas.

6.2.3. Sustancias prioritarias

Los resultados obtenidos correspondientes a los valores y coeficientes característicos de los días laborables y de los de fin de semana son los siguientes.

Tabla 6-21. Valores y coeficientes característicos de las sustancias prioritarias para los días laborables.

Sustancias prioritarias	LABORABLES					
	CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA A CAUDAL	CONCENTRACIÓN MÁXIMA	CONCENTRACIÓN MÍNIMA	Coefficiente punta	Coefficiente de mínimos	kg/día
Aceites y grasas (mg/L)	50.3	108.2	8.9	2.15	0.18	102.5
HAPs totales (µg/L)	5.0	8.9	1.8	1.79	0.37	
Benzo(a)pireno (µg/L)	0.1	0.4	0.03	3.09	0.23	
Fluoranteno (µg/L)	0.4	0.9	0.1	2.41	0.26	
Naftaleno (µg/L)	1.4	2.2	0.3	1.55	0.18	
COVs totales (µg/L)	15.1	17.6	11.6	1.16	0.77	
BTEX (µg/L)	4.5	7.3	2.4	1.62	0.54	
Cloroformo (µg/L)	7.1	8.5	5.2	1.20	0.73	
Hidrocarburos totales (µg/L)	1.0	1.2	0.9	1.11	0.85	
Fenoles (µg/L)	9.7	15.8	2.8	1.63	0.29	
Plaguicidas (µg/L)	0.002	0.015	<0.0007	9.60	0.00	

Tabla 6-22. Valores y coeficientes característicos de las sustancias prioritarias para los días de fin de semana.

Sustancias prioritarias	FIN DE SEMANA					
	CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA A CAUDAL	CONCENTRACIÓN MÁXIMA	CONCENTRACIÓN MÍNIMA	Coefficiente punta	Coefficiente de mínimos	kg/día
Aceites y grasas (mg/L)	59.7	93.6	9.6	1.57	0.16	109.5
HAPs totales (µg/L)	3.5	11.1	1.8	3.15	0.51	
Benzo(a)pireno (µg/L)	0.05	0.2	0.01	4.12	0.11	
Fluoranteno (µg/L)	0.2	0.6	0.1	2.53	0.42	
Naftaleno (µg/L)	1.0	2.0	0.2	2.02	0.25	
COVs totales (µg/L)	12.2	14.6	10.0	1.19	0.81	
BTEX (µg/L)	4.3	5.6	3.2	1.32	0.75	
Cloroformo (µg/L)	5.2	6.4	3.8	1.24	0.74	
Hidrocarburos totales (µg/L)	1.3	2.2	0.8	1.70	0.63	
Fenoles (µg/L)	6.8	17.0	3.1	2.52	0.46	
Plaguicidas (µg/L)	<0.0007	<0.0007	<0.0007			

Las curvas características de tiempo seco de las sustancias prioritarias son las siguientes.

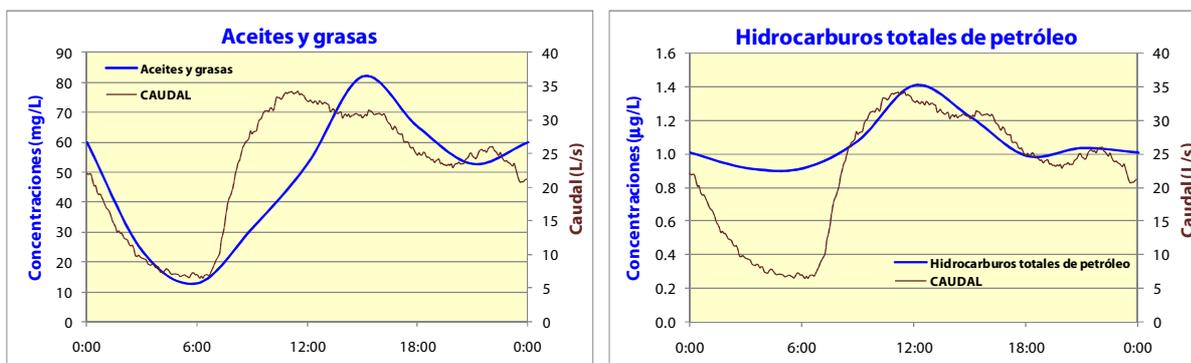


Figura 6-38. Polutograma diario de tiempo seco de aceites y grasas e hidrocarburos totales de petróleo.

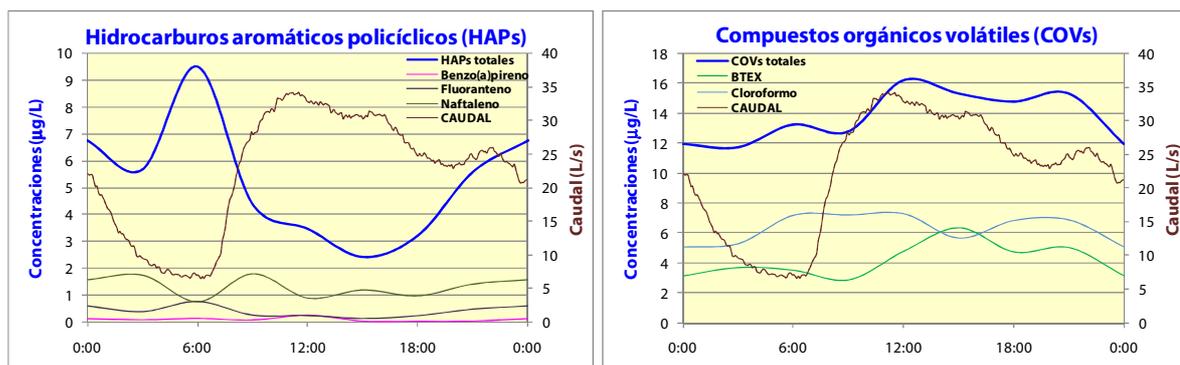


Figura 6-39. Polutograma diario de tiempo seco de HAPs y COVs.

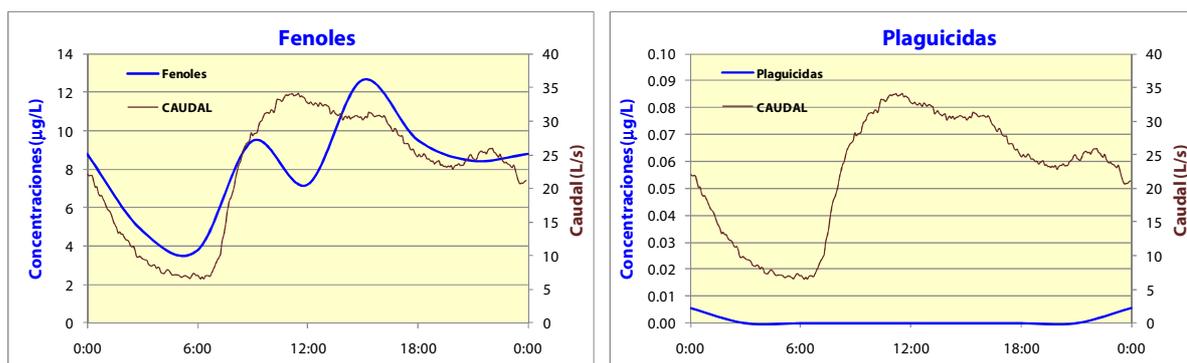


Figura 6-40. Polutograma diario de tiempo seco de fenoles y plaguicidas.

Las principales conclusiones de las variaciones diarias de las sustancias prioritarias son:

- ✓ Los aceites y grasas presentan un valor punta después del almuerzo, sobre las 16:00 horas, mientras que el de los hidrocarburos totales de petróleo ocurre a mediodía.
- ✓ Las concentraciones de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) son inversas al valor de caudal y, por consiguiente, máximas en horario nocturno.
- ✓ La concentración de los compuestos orgánicos volátiles es bastante constante durante todo el día con dos pequeñas puntas al mediodía y a las 22:00 horas. Por otro lado, los fenoles presentan un doble pico a las 9:00 y las 16:00 horas.

Tabla 6-23. Concentraciones medias diarias de las sustancias prioritarias para todos los días.

Sustancias prioritarias	TODOS
	CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA A CAUDAL
Aceites y grasas (mg/L)	53.0
HAPs totales (µg/L)	4.5
Benzo(a)pireno (µg/L)	0.1
Fluoranteno (µg/L)	0.4
Naftaleno (µg/L)	1.3
COVs totales (µg/L)	14.3
BTEX (µg/L)	4.5
Cloroformo (µg/L)	6.5
Hidrocarburos totales (µg/L)	1.1
Fenoles (µg/L)	8.9
Plaguicidas (µg/L)	0.001

Tabla 6-24. Composición típica de agua residual doméstica bruta (adaptado de Metcalf & Eddy, 1991).

Contaminante	Concentración		
	Débil	Media	Fuerte
Grasa (mg/L)	50	100	150
COVs (µg/L)	<100	100 - 400	>400

Al comparar los valores registrados de aceites y grasas y COVs con los de la tabla anterior se concluye que el agua residual de la cuenca estudiada se puede catalogar de concentración débil para los primeros y muy débil para los segundos.

Como estimación cuantitativa los valores de fenoles y plaguicidas se compararán con los de la tabla de los parámetros característicos que se deben considerar, como mínimo, en la estima del tratamiento de un vertido que se recogía en el Anejo al Título IV del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH).

Tabla 6-25. Tablas de los parámetros característicos que se deben considerar, como mínimo, en la estima del tratamiento del vertido (RDPH).

Parámetro	Tabla I	Tabla II	Tabla III
Fenoles (mg/L) ^a	1	0.5	0.5
Pesticidas (mg/L) ^b	0.5	0.5	0.5

a - expresado en C₆O₁₄H₆

b - si se tratase exclusivamente de pesticidas fosforados puede admitirse un máximo de 0.1 mg/L.

Las concentraciones registradas en la cuenca para estos dos parámetros de contaminación han sido muy inferiores a los de las tablas del RDPH.

6.2.4. Contaminantes emergentes o "PPCPS"

En este apartado se presentan los resultados obtenidos correspondientes a los días laborables en la campaña de tiempo seco puesto que en fin de semana no se midieron todos los "PPCPS" ni sus fracciones disueltas. La siguiente tabla presenta los valores y coeficientes característicos resultantes de los días laborables caracterizados en los que se presentan los valores medios de las concentraciones medias ponderadas a caudal, máximas y mínimas obtenidas para cada día.

Tabla 6-26. Valores y coeficientes característicos de los contaminantes emergentes para los días laborables.

PPCPS	LABORABLES					
	CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA A CAUDAL	CONCENTRACIÓN MÁXIMA	CONCENTRACIÓN MÍNIMA	Coeficiente punta	Coeficiente de mínimos	g/día
HHCB Galaxolide total (µg/L)	0.83	1.22	0.35	1.46	0.42	1.79
ATHN Tonalide total (µg/L)	0.43	0.56	0.30	1.30	0.69	0.92
17-β-estradiol total (µg/L)	0.0001	0.0020	<0.006	19.61	0.00	0.0002
Ibuprofeno total (µg/L)	0.31	0.85	0.06	2.69	0.21	0.67
Diclofenaco total (µg/L)	0.14	0.33	0.03	2.33	0.22	0.32
Carbamazepina total (µg/L)	0.01	0.03	0.002	2.37	0.19	0.03
Cafeína total (µg/L)	16.2	29.5	5.2	1.82	0.32	35.0
Paracetamol total (µg/L)	0.16	0.72	<0.006	4.57	0.00	0.33
Amoxicilina total (µg/L)	0.003	0.02	<0.006	4.87	0.00	0.01

Las concentraciones en todas las muestras de los días de tiempo seco analizados de los antibióticos enrofloxacin y flumequina fueron inferiores al límite de detección (0.006 µg/L) por ello no se presentan en la tabla anterior.

A continuación se muestran las curvas características de tiempo seco para los días laborables de los contaminantes emergentes cuyos valores máximos y mínimos representados no han de coincidir con los expuestos en la tabla anterior debido a que los valores representados en las curvas están calculados como promedios de las muestras horarias de todos los días laborables analizados. No figura el 17-β-estradiol puesto que en la mayoría de las muestras analizadas se encontraba en concentraciones inferiores al límite de detección (0.006 µg/L).

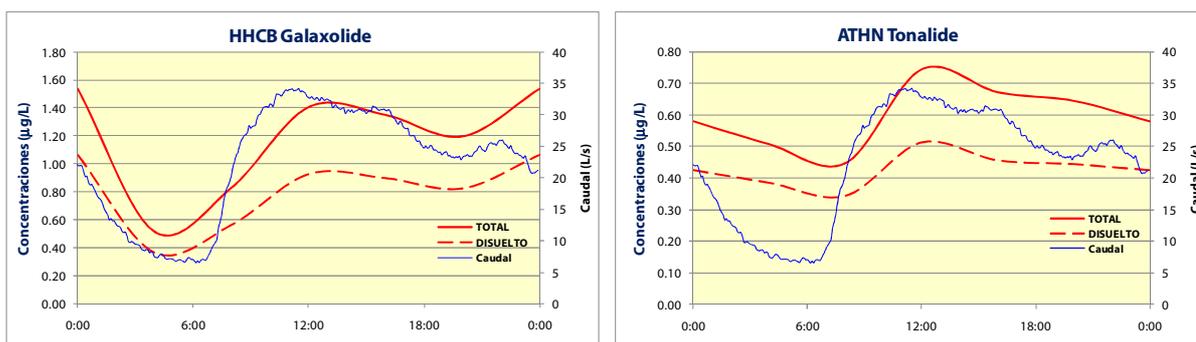


Figura 6-41. Polutograma diario de tiempo seco de HHCB Galaxolide y ATHN Tonalide (fragancias).

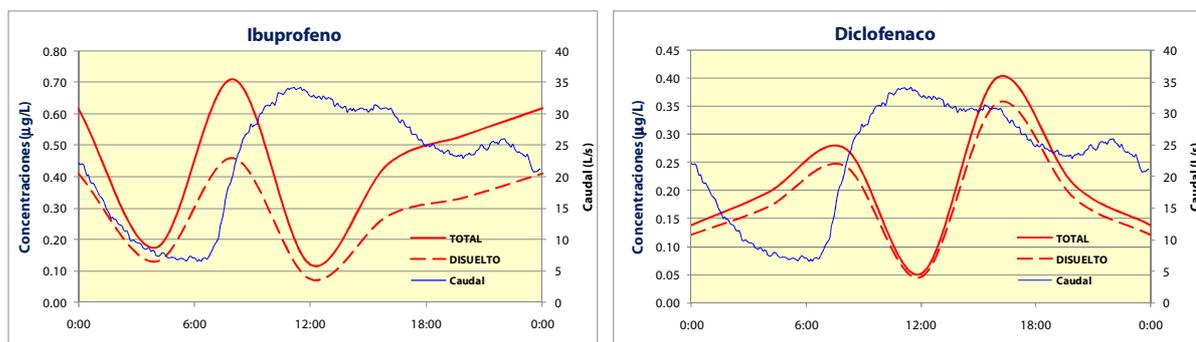


Figura 6-42. Polutograma diario de tiempo seco de ibuprofeno y diclofenaco.

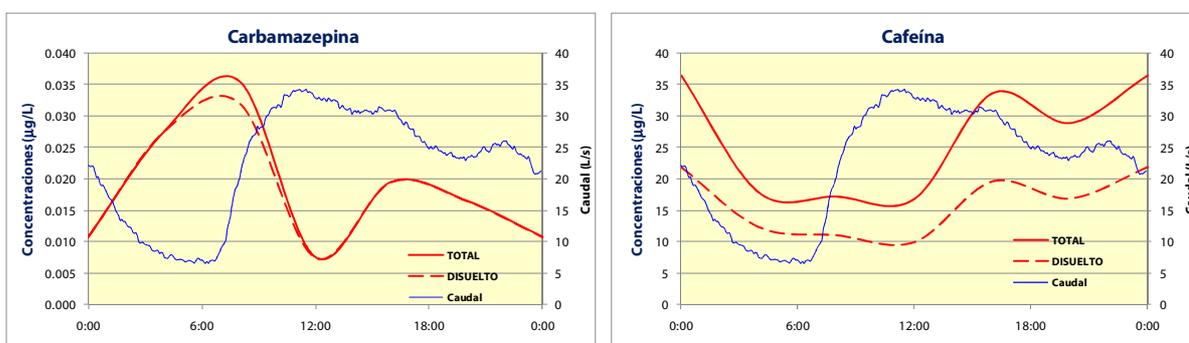


Figura 6-43. Polutograma diario de tiempo seco de carbamazepina y cafeína.

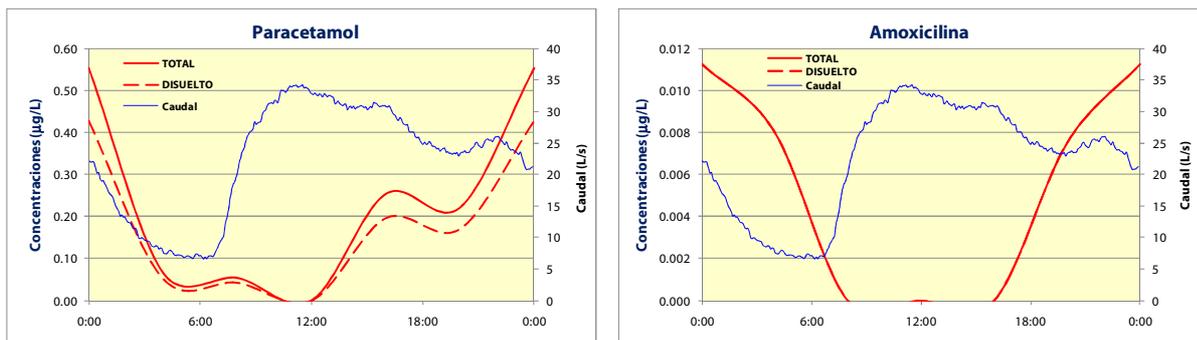


Figura 6-44. Polutograma diario de tiempo seco de paracetamol y amoxicilina.

Las conclusiones más importantes a destacar de las curvas características diarias de los PPCPs.

- ✓ Las fragancias tonalide y galaxolide tienen un valor punta a mediodía, y en el caso de la segunda también existe otra punta a medianoche.
- ✓ El ibuprofeno y el diclofenaco presentan dos puntas, una en torno a las 8:00 horas en ambos casos y, la otra, a medianoche en el caso del primero y sobre las 16:00 horas para el segundo.
- ✓ La cafeína es la sustancia de este grupo que se encuentra en concentraciones mayores y con dos puntas diarias, sobre las 16:00 horas y a medianoche.
- ✓ La amoxicilina y el paracetamol presenta su valor punta a medianoche.

La distribución por fases de este grupo de sustancias se presenta en la siguiente figura.

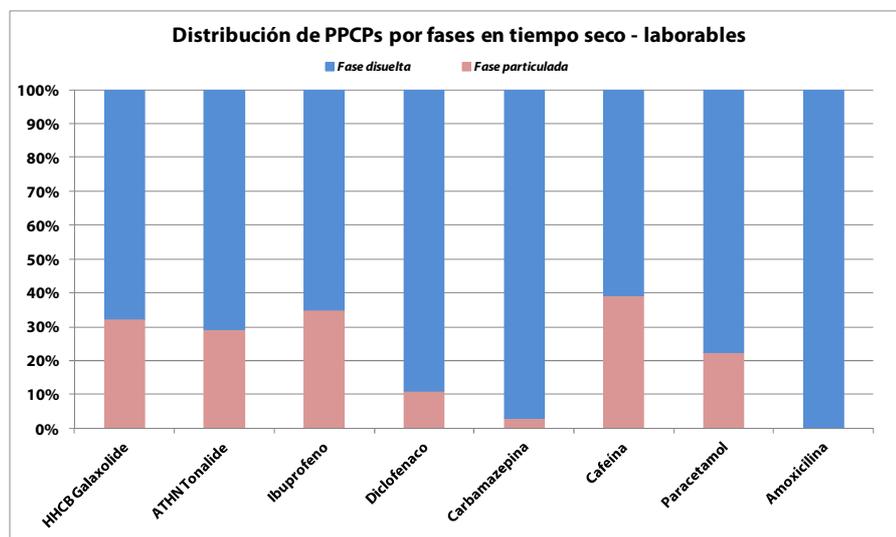


Figura 6-45. Distribución por fases de los PPCPs en los días laborables de tiempo seco.

Las fragancias (galaxolide y tonalide), el ibuprofeno y la cafeína están asociados a la fase particulada en un porcentaje que oscila entre un 30 – 40 % del total; en el caso del paracetamol esta fase representa el 20%, mientras que el diclofenaco, la carbamazepina y la amoxicilina, sustancias con unas concentraciones medias menores a los anteriores, se presentan mayoritariamente en fase disuelta.

6.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONTAMINANTES EN TIEMPO SECO

A continuación se presenta el análisis estadístico realizado con los datos obtenidos en la campaña de tiempo seco. El objetivo de este análisis es estudiar el comportamiento conjunto de los distintos contaminantes para poder utilizar los valores de unos para pronosticar el valor de otros. De todos los parámetros de contaminación estudiados en la cuenca se analizan en este apartado una selección de ellos. Las correlaciones entre todos los contaminantes pueden consultarse en el Anejo denominado RESULTADOS COMPLETOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA EN TIEMPO SECO. El coeficiente de correlación entre dos variables indica en qué medida están relacionadas; un valor cercano a 1 (en valor absoluto) indica un grado alto de correlación, mientras que si es inferior a 0.7 la correlación es leve y, por debajo de 0.5, casi inexistente.

Los parámetros de contaminación seleccionados para su análisis en tiempo seco han sido:

- ✓ Parámetros básicos: DQO, DQO soluble, DBO₅, N total, N amoniacal, fósforo total, sólidos en suspensión totales y volátiles, sólidos disueltos, sólidos totales, turbidez, conductividad a 20°, pH y coliformes fecales (indicador bacteriológico).
- ✓ Metales: aluminio, arsénico, cobre, cromo, manganeso, níquel, plomo y zinc.

El procedimiento para la selección de los metales estudiados se explica en el capítulo siguiente (capítulo 7).

6.3.1. Parámetros básicos

En la siguiente tabla se muestra la matriz de correlación de los parámetros básicos seleccionados obtenida con el programa de análisis estadístico MINITAB (versión 15.0). Se han marcado en rojo los valores muy correlacionados, en verde los valores con correlación significativa, en azul los levemente correlacionados y en negro los que no presenta correlación entre ellos.

Tabla 6-27. Matriz de correlación de parámetros básicos seleccionados en tiempo seco.

	DQO	DQO_sol	DBO ₅	N_total	N_amoniacal	P_total	SS	SSV	SD	ST	Turbidez	Cond._20°	pH	CF
DQO	1.00	0.87	0.94	0.60	0.35	0.74	0.91	0.92	0.80	0.97	0.94	0.69	-0.24	0.22
DQO_sol	0.87	1.00	0.89	0.41	0.24	0.60	0.71	0.71	0.71	0.85	0.81	0.68	-0.14	0.21
DBO ₅	0.94	0.89	1.00	0.52	0.29	0.64	0.80	0.81	0.74	0.89	0.87	0.63	-0.21	0.23
N_total	0.60	0.41	0.52	1.00	0.85	0.84	0.69	0.69	0.46	0.64	0.56	0.83	0.16	0.15
N_amoniacal	0.35	0.24	0.29	0.85	1.00	0.70	0.42	0.45	0.34	0.39	0.34	0.79	0.57	0.05
P_total	0.74	0.60	0.64	0.84	0.70	1.00	0.79	0.80	0.56	0.80	0.66	0.84	0.14	0.22
SS	0.91	0.71	0.80	0.69	0.42	0.79	1.00	0.98	0.63	0.94	0.89	0.68	-0.16	0.15
SSV	0.92	0.71	0.81	0.69	0.45	0.80	0.98	1.00	0.66	0.94	0.91	0.69	-0.21	0.14
SD	0.80	0.71	0.74	0.46	0.34	0.56	0.63	0.66	1.00	0.79	0.75	0.63	-0.21	0.25
ST	0.97	0.85	0.89	0.64	0.39	0.80	0.94	0.94	0.79	1.00	0.93	0.74	-0.18	0.18
Turbidez	0.94	0.81	0.87	0.56	0.34	0.66	0.89	0.91	0.75	0.93	1.00	0.61	-0.39	0.15
Cond._20°	0.69	0.68	0.63	0.83	0.79	0.84	0.68	0.69	0.63	0.74	0.61	1.00	0.20	0.13
pH	-0.24	-0.14	-0.21	0.16	0.57	0.14	-0.16	-0.21	-0.21	-0.18	-0.39	0.20	1.00	0.26
CF	0.22	0.21	0.23	0.15	0.05	0.22	0.15	0.14	0.25	0.18	0.15	0.13	0.26	1.00

Se observa que la matriz, lógicamente, es simétrica y que los pares de valores iguales (DQO-DQO) recorren la diagonal con un valor igual a 1. Las conclusiones que se extraen son las siguientes:

- ✓ Se aprecia una alta correlación entre todos los parámetros a excepción del N amoniacal, el pH y los coliformes fecales.

- ✓ Los parámetros de DQO, DBO₅, SS, SSV, ST y turbidez presentan una correlación muy alta entre sí.
- ✓ El N amoniacal tan solo correlaciona con el N total, el P total y la conductividad y, ligeramente, con el pH.
- ✓ El pH tan solo correlaciona ligeramente con el nitrógeno amoniacal.
- ✓ Los coliformes fecales no se correlacionan con ningún parámetro.

A partir de la información facilitada por la matriz de correlación de los parámetros básicos seleccionados en tiempo seco se obtuvieron relaciones entre variables. La relación entre dos variables se calculó haciendo una regresión lineal simple, utilizando el principio de mínimos cuadrados. Los resultados se muestran a continuación. Se han seleccionado los parámetros que presentan una relación más clara.

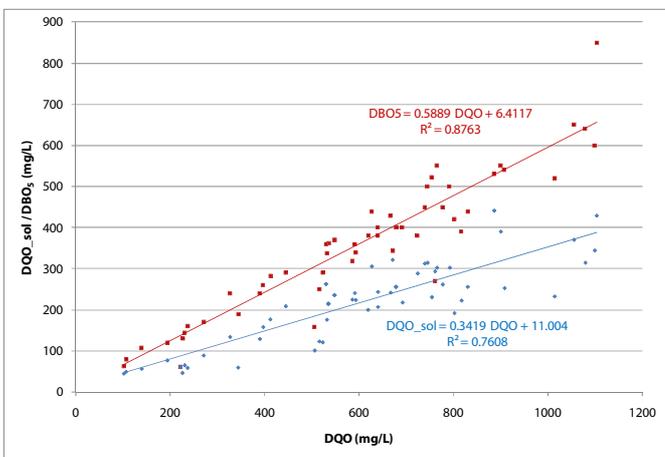


Figura 6-46. Relación entre los consumidores de oxígeno en tiempo seco.

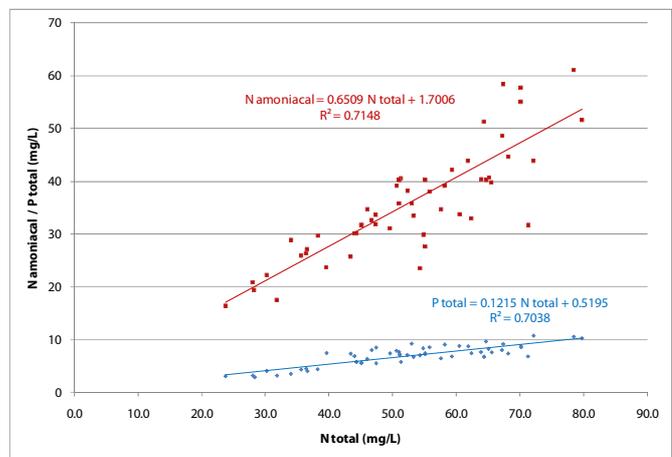


Figura 6-47. Relación entre las formas de N y P en tiempo seco.

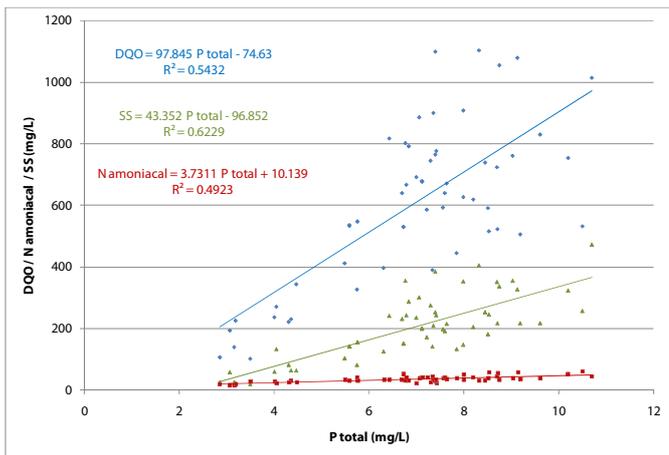


Figura 6-48. Relación del fósforo con la DQO, N amoniacal y SS en tiempo seco.

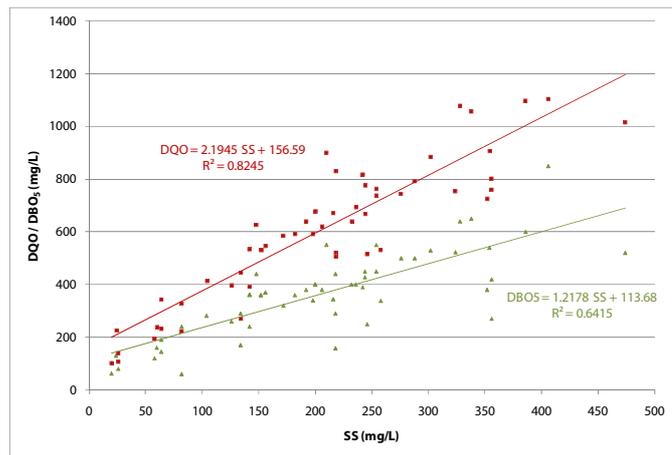


Figura 6-49. Relación entre los SS y los consumidores de oxígeno en tiempo seco.

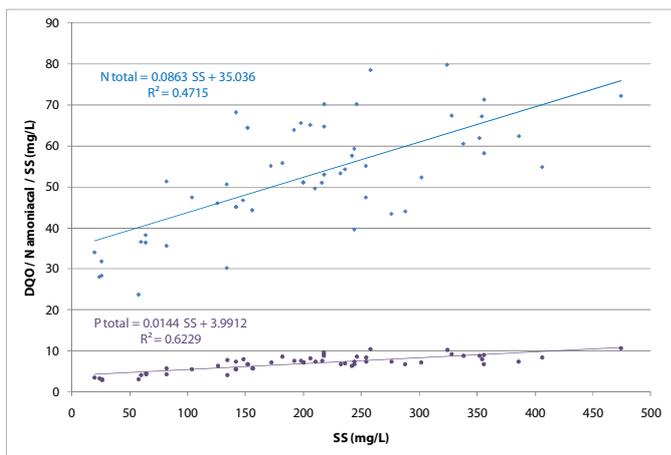


Figura 6-50. Relación de los SS con el N total y el P total en tiempo seco.

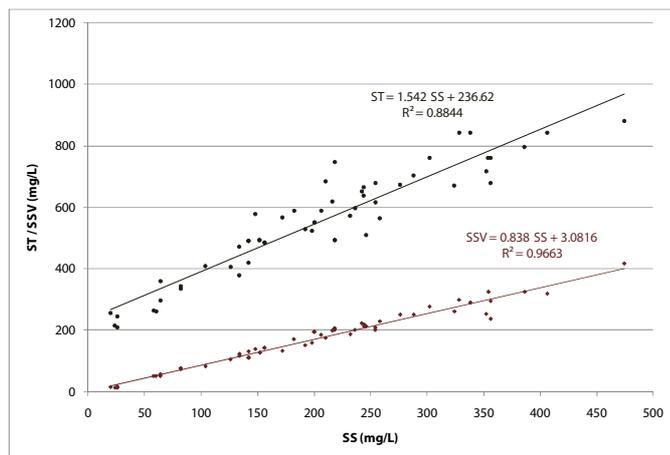


Figura 6-51. Relación entre los SS, SSV y ST en tiempo seco.

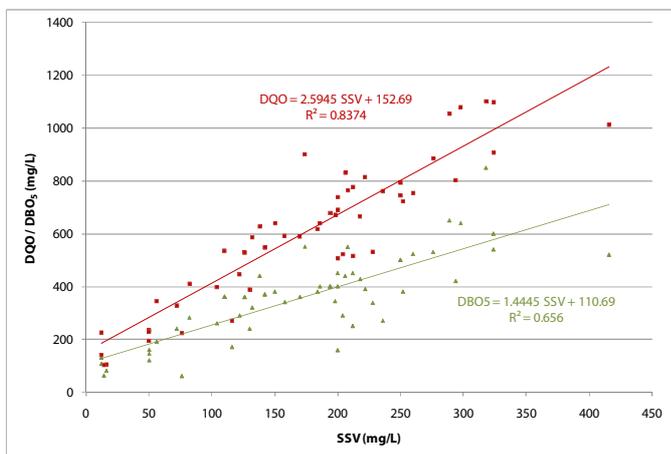


Figura 6-52. Relación entre los SSV y los consumidores de oxígeno en tiempo seco.

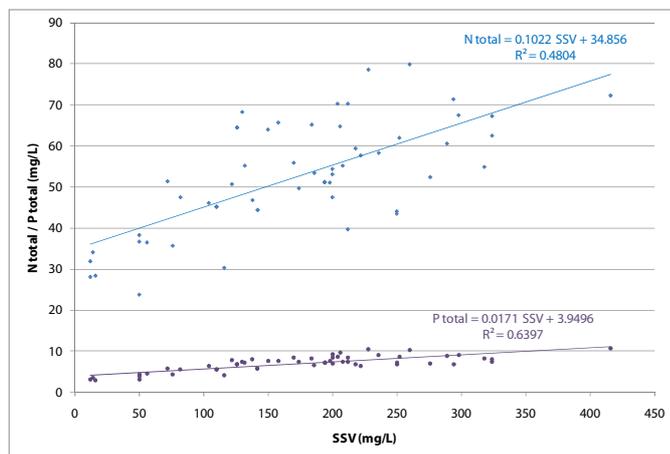


Figura 6-53. Relación de los SSV con el N total y el P total en tiempo seco.

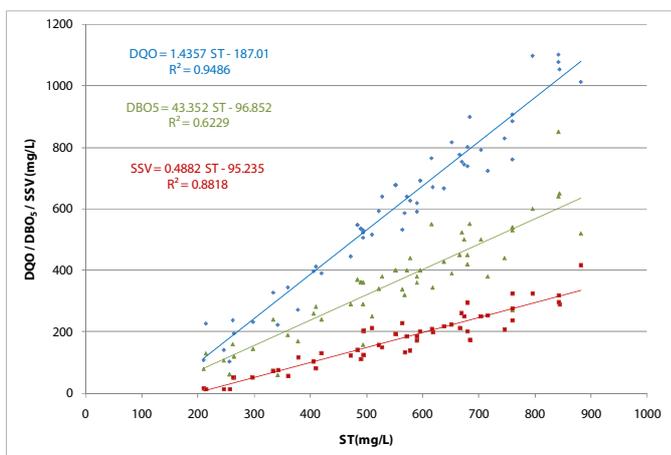


Figura 6-54. Relación de los ST con los consumidores de oxígeno y los SSV en tiempo seco.

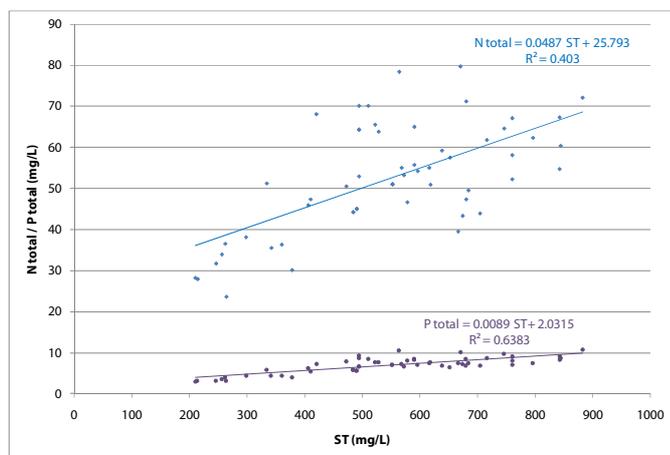


Figura 6-55. Relación de los ST con el N total y el P total en tiempo seco.

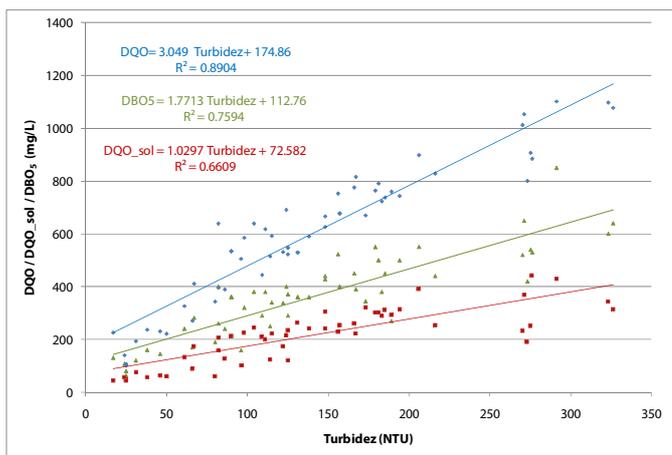


Figura 6-56. Relación entre la turbidez y los consumidores de oxígeno en tiempo seco.

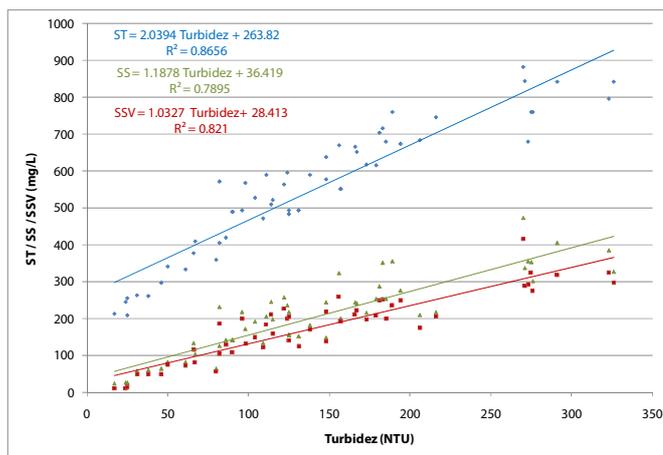


Figura 6-57. Relación entre la turbidez y los sólidos en tiempo seco.

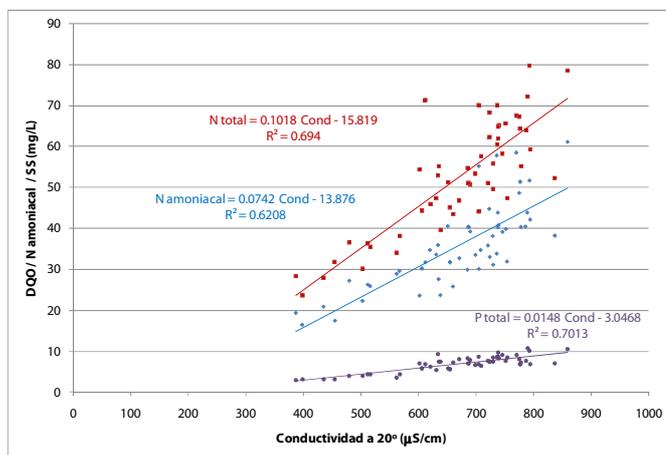


Figura 6-58. Relación entre la conductividad y las formas de N y P en tiempo seco.

De las gráficas anteriores destacan las siguientes relaciones entre parámetros básicos:

- ✓ Los consumidores de oxígeno (DQO, DQO soluble y DBO₅) están muy relacionados entre sí.
- ✓ Los SS, SSV, ST y turbidez están muy relacionados entre sí y con la DQO, bien relacionados con la DBO₅ y P total, y ligeramente con el N total.

A continuación, a modo de resumen, se presentan los diagramas de distribución de datos para las concentraciones de los parámetros básicos obtenidas en los flujos de tiempo seco a excepción de los coliformes fecales, cuyas concentraciones, se representan en un gráfico de distribución de probabilidad acumulada lognormal. Puede apreciarse que el valor de concentración medio esperable de este indicador bacteriológico se sitúa en torno a las 8 unidades logarítmicas de unidades formadoras de colonias por cada 100 mL de agua residual de tiempo seco.

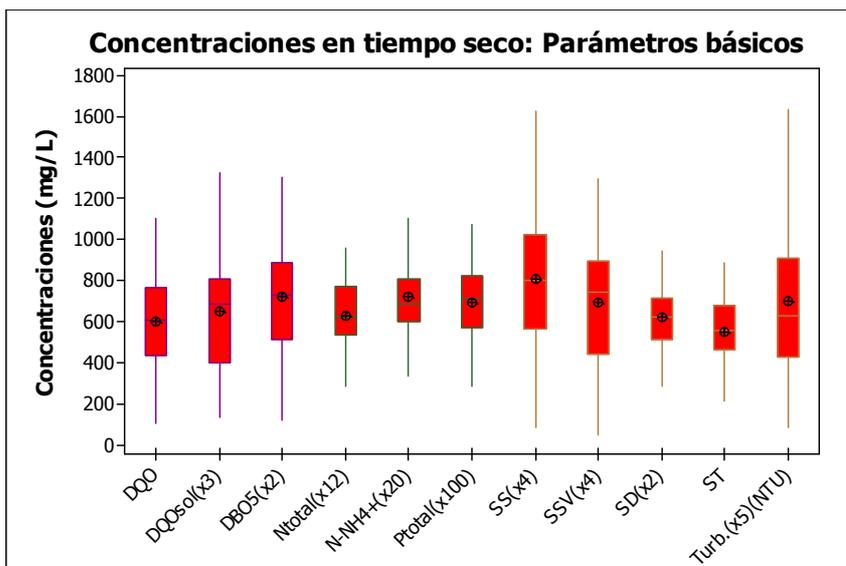


Figura 6-59. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de los parámetros básicos obtenidas en los flujos de tiempo seco.

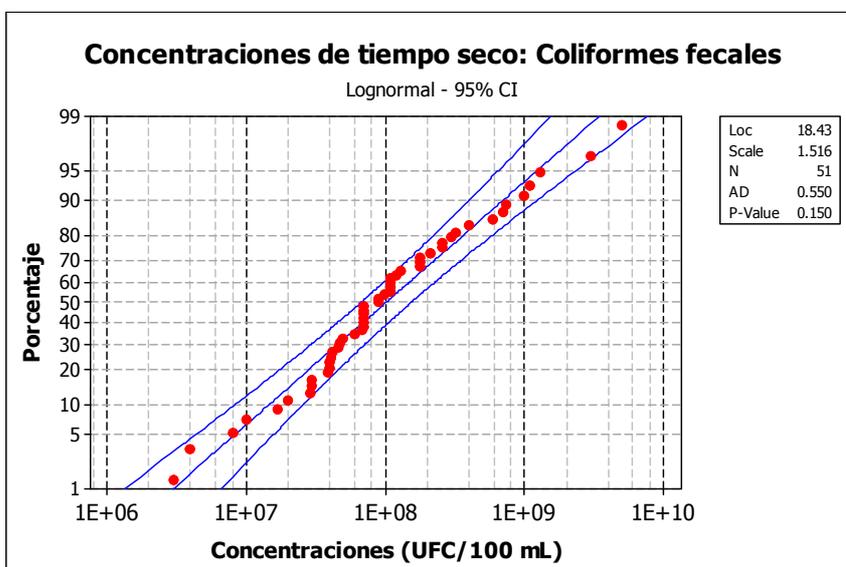


Figura 6-60. Distribución de probabilidad acumulada para las concentraciones de coliformes fecales obtenidas en los flujos de tiempo seco.

6.3.2. Metales seleccionados

En la siguiente tabla se muestra la matriz de correlación de los metales seleccionados para su análisis (Al, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn y As) obtenida con el programa de análisis estadístico MINITAB. Se han marcado en rojo los valores muy correlacionados, en verde los valores con correlación significativa, en azul los levemente correlacionados y en negro los que no tienen correlación.

Tabla 6-28. Matriz de correlación de los metales seleccionados en tiempo seco.

	Al_T	Cr_T	Cu_T	Mn_T	Ni_T	Pb_T	Zn_T	As_T	Al_P	Cr_P	Cu_P	Mn_P	Ni_P	Pb_P	Zn_P	As_P	Al_D	Cr_D	Cu_D	Mn_D	Ni_D	Pb_D	Zn_D	As_D
DQO	0.82	0.73	0.27	0.16	0.59	0.72	0.74	0.26	0.82	0.63	0.25	-0.01	0.07	0.69	0.58	-0.10	0.21	0.54	0.69	0.20	0.59	0.61	0.50	0.50
DQO_soluble	0.53	0.49	0.07	-0.05	0.49	0.49	0.49	0.21	0.54	0.47	0.06	0.11	0.32	0.47	0.41	0.13	-0.04	0.17	0.35	-0.20	0.14	0.35	0.27	0.06
DBO5	0.69	0.57	0.26	0.11	0.51	0.59	0.61	0.31	0.69	0.49	0.24	0.04	0.11	0.56	0.48	0.04	0.13	0.43	0.54	0.08	0.44	0.50	0.39	0.36
N_total	0.61	0.62	0.39	0.21	0.62	0.75	0.75	0.29	0.61	0.56	0.38	0.08	0.23	0.74	0.70	0.04	0.19	0.36	0.52	0.15	0.42	0.34	0.21	0.38
N_amoniacal	0.29	0.33	0.22	0.11	0.38	0.41	0.44	0.11	0.28	0.28	0.21	0.00	0.13	0.40	0.40	-0.05	0.27	0.28	0.37	0.12	0.26	0.28	0.15	0.23
P_total	0.73	0.72	0.33	0.17	0.71	0.74	0.82	0.18	0.73	0.66	0.31	0.12	0.33	0.73	0.75	-0.01	0.15	0.36	0.47	0.04	0.38	0.35	0.27	0.26
SS	0.84	0.80	0.34	0.24	0.63	0.85	0.80	0.23	0.84	0.75	0.32	0.10	0.17	0.83	0.72	-0.05	0.17	0.39	0.59	0.16	0.50	0.45	0.31	0.39
SSV	0.84	0.78	0.35	0.21	0.61	0.82	0.80	0.24	0.83	0.70	0.32	0.05	0.12	0.79	0.69	-0.07	0.22	0.46	0.62	0.19	0.56	0.51	0.37	0.44
SD	0.72	0.66	0.16	0.12	0.53	0.57	0.64	0.20	0.70	0.52	0.13	-0.16	-0.06	0.53	0.42	-0.22	0.36	0.67	0.77	0.35	0.70	0.69	0.64	0.63
ST	0.86	0.81	0.29	0.18	0.68	0.80	0.79	0.27	0.86	0.74	0.26	0.08	0.20	0.78	0.67	-0.03	0.14	0.45	0.64	0.11	0.52	0.51	0.40	0.41
Turbidez	0.81	0.72	0.29	0.16	0.58	0.74	0.71	0.20	0.81	0.63	0.27	-0.03	0.08	0.71	0.57	-0.11	0.20	0.49	0.61	0.23	0.58	0.53	0.42	0.45
Cond_20°	0.54	0.56	0.14	0.03	0.58	0.61	0.63	0.28	0.54	0.54	0.12	0.15	0.37	0.60	0.58	0.14	0.06	0.19	0.48	-0.16	0.18	0.33	0.19	0.15
pH	-0.22	-0.05	-0.43	-0.23	-0.02	-0.03	-0.02	0.01	-0.21	0.06	-0.42	0.23	0.37	-0.01	0.08	0.27	-0.24	-0.40	-0.16	-0.56	-0.52	-0.24	-0.26	-0.44
CF	-0.11	0.00	0.32	-0.05	0.09	0.16	0.09	-0.04	-0.12	-0.01	0.31	-0.08	0.10	0.14	0.07	0.02	0.22	0.02	0.14	0.05	-0.04	0.22	0.05	-0.09
	Al_T	Cr_T	Cu_T	Mn_T	Ni_T	Pb_T	Zn_T	As_T	Al_P	Cr_P	Cu_P	Mn_P	Ni_P	Pb_P	Zn_P	As_P	Al_D	Cr_D	Cu_D	Mn_D	Ni_D	Pb_D	Zn_D	As_D
Al_T	1.00	0.92	0.55	0.46	0.82	0.86	0.91	0.37	1.00	0.85	0.52	0.25	0.29	0.85	0.83	0.06	0.19	0.44	0.56	0.22	0.56	0.42	0.32	0.40
Cr_T	0.92	1.00	0.49	0.49	0.80	0.86	0.86	0.35	0.91	0.97	0.47	0.33	0.35	0.85	0.80	0.08	0.16	0.34	0.55	0.14	0.46	0.35	0.23	0.33
Cu_T	0.55	0.49	1.00	0.69	0.67	0.53	0.56	0.53	0.55	0.49	1.00	0.46	0.40	0.55	0.64	0.38	-0.05	0.09	0.06	0.22	0.24	-0.05	-0.15	0.10
Mn_T	0.46	0.49	0.69	1.00	0.57	0.40	0.46	0.67	0.46	0.52	0.69	0.68	0.39	0.42	0.56	0.46	0.10	-0.03	-0.02	0.30	0.14	-0.16	-0.21	0.15
Ni_T	0.82	0.80	0.67	0.57	1.00	0.86	0.87	0.52	0.83	0.83	0.66	0.51	0.69	0.88	0.93	0.38	-0.02	0.09	0.25	0.01	0.23	0.05	-0.07	0.08
Pb_T	0.86	0.86	0.53	0.40	0.86	1.00	0.91	0.31	0.87	0.84	0.51	0.29	0.46	1.00	0.91	0.12	0.11	0.25	0.45	0.10	0.39	0.27	0.10	0.22
Zn_T	0.91	0.86	0.56	0.46	0.87	0.91	1.00	0.38	0.91	0.80	0.54	0.26	0.39	0.90	0.93	0.11	0.25	0.40	0.47	0.20	0.48	0.38	0.29	0.34
As_T	0.37	0.35	0.53	0.67	0.52	0.31	0.38	1.00	0.38	0.41	0.53	0.69	0.49	0.33	0.50	0.79	-0.21	-0.16	-0.03	-0.10	-0.07	-0.21	-0.25	0.06
Al_P	1.00	0.91	0.55	0.46	0.83	0.87	0.91	0.38	1.00	0.86	0.53	0.28	0.32	0.85	0.83	0.09	0.14	0.41	0.55	0.18	0.53	0.39	0.28	0.37
Cr_P	0.85	0.97	0.49	0.52	0.83	0.84	0.80	0.41	0.86	1.00	0.48	0.50	0.53	0.85	0.83	0.26	-0.02	0.09	0.38	-0.03	0.24	0.13	0.00	0.13
Cu_P	0.52	0.47	1.00	0.69	0.66	0.51	0.54	0.53	0.53	0.48	1.00	0.47	0.42	0.53	0.63	0.40	-0.07	0.06	0.02	0.20	0.21	-0.08	-0.18	0.07
Mn_P	0.25	0.33	0.46	0.68	0.51	0.29	0.26	0.69	0.28	0.50	0.47	1.00	0.79	0.34	0.52	0.86	-0.51	-0.56	-0.33	-0.50	-0.48	-0.56	-0.65	-0.47
Ni_P	0.29	0.35	0.40	0.39	0.69	0.46	0.39	0.49	0.32	0.53	0.42	0.79	1.00	0.51	0.66	0.78	-0.54	-0.62	-0.38	-0.57	-0.54	-0.57	-0.67	-0.61
Pb_P	0.85	0.85	0.55	0.42	0.88	1.00	0.90	0.33	0.85	0.85	0.53	0.34	0.51	1.00	0.92	0.17	0.06	0.18	0.39	0.06	0.33	0.20	0.03	0.17
Zn_P	0.83	0.80	0.64	0.56	0.93	0.91	0.93	0.50	0.83	0.83	0.63	0.52	0.66	0.92	1.00	0.38	-0.02	0.07	0.20	-0.02	0.19	0.03	-0.08	0.05
As_P	0.06	0.08	0.38	0.46	0.38	0.12	0.11	0.79	0.09	0.26	0.40	0.86	0.78	0.17	0.38	1.00	-0.59	-0.66	-0.51	-0.56	-0.62	-0.64	-0.69	-0.56
Al_D	0.19	0.16	-0.05	0.10	-0.02	0.11	0.25	-0.21	0.14	-0.02	-0.07	-0.51	-0.54	0.06	-0.02	-0.59	1.00	0.74	0.46	0.78	0.71	0.69	0.73	0.68
Cr_D	0.44	0.34	0.09	-0.03	0.09	0.25	0.40	-0.16	0.41	0.09	0.06	-0.56	-0.62	0.18	0.07	-0.66	0.74	1.00	0.78	0.68	0.95	0.91	0.93	0.85
Cu_D	0.56	0.55	0.06	-0.02	0.25	0.45	0.47	-0.03	0.55	0.38	0.02	-0.33	-0.38	0.39	0.20	-0.51	0.46	0.78	1.00	0.40	0.80	0.87	0.76	0.79
Mn_D	0.22	0.14	0.22	0.30	0.01	0.10	0.20	-0.10	0.18	-0.03	0.20	-0.50	-0.57	0.06	-0.02	-0.56	0.78	0.68	0.40	1.00	0.78	0.53	0.59	0.78
Ni_D	0.56	0.46	0.24	0.14	0.23	0.39	0.48	-0.07	0.53	0.24	0.21	-0.48	-0.54	0.33	0.19	-0.62	0.71	0.95	0.80	0.78	1.00	0.83	0.82	0.92
Pb_D	0.42	0.35	-0.05	-0.16	0.05	0.27	0.38	-0.21	0.39	0.13	-0.08	-0.56	-0.57	0.20	0.03	-0.64	0.69	0.91	0.87	0.53	0.83	1.00	0.95	0.76
Zn_D	0.32	0.23	-0.15	-0.21	-0.07	0.10	0.29	-0.25	0.28	0.00	-0.18	-0.65	-0.67	0.03	-0.08	-0.69	0.73	0.93	0.76	0.59	0.82	0.95	1.00	0.79
As_D	0.40	0.33	0.10	0.15	0.08	0.22	0.34	0.06	0.37	0.13	0.07	-0.47	-0.61	0.17	0.05	-0.56	0.68	0.85	0.79	0.78	0.92	0.76	0.79	1.00

Observando la matriz de correlación se concluye lo siguiente:

- ✓ En general, los metales totales y los particulados están bien correlacionados entre sí y ambos no están correlacionados con los metales disueltos que, a su vez, sí están correlacionados entre sí.
- ✓ El grupo de metales totales formado por aluminio, cromo, níquel, plomo y zinc (grupo I) tiene un comportamiento similar y correlacionan leve o significativamente con los parámetros básicos seleccionados a excepción de la DQO soluble, N amoniacal, pH y coliformes fecales.
- ✓ El resto de metales totales, cobre, manganeso y arsénico (grupo II) no correlacionan con ningún parámetro básico.
- ✓ El grupo I de metales (aluminio, cromo, níquel, plomo y zinc) correlacionan muy bien entre sí.
- ✓ El manganeso y el arsénico no correlacionan con el resto de metales totales a excepción del cobre y níquel, estos cuatro metales totales correlacionan ligeramente entre sí.
- ✓ El cobre correlaciona ligeramente con todos los metales totales.

Por tanto, pueden establecerse dos grupos de metales en cuanto a comportamientos en tiempo seco: uno es el grupo mayoritario (grupo I) formado por el aluminio, cromo, níquel,

plomo y zinc; y el otro (grupo II) el manganeso, arsénico y cobre, correlacionando este último ligeramente con los metales del primer grupo.

A continuación se presentan gráficamente los resultados de las regresiones lineales simples realizadas entre los parámetros con mayor correlación entre sí.

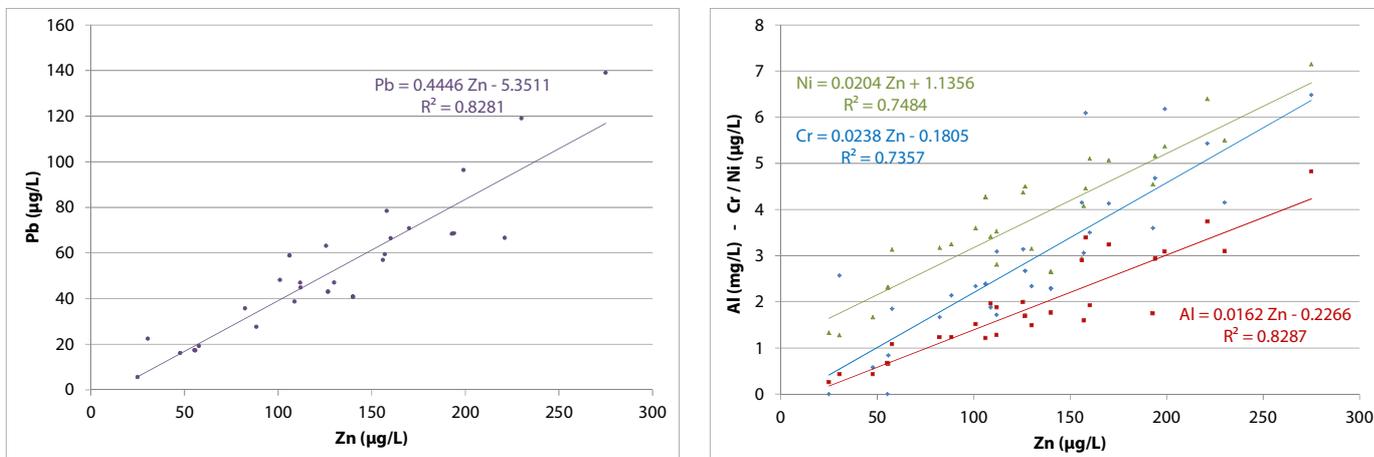


Figura 6-61. Relación entre el zinc y el aluminio, cromo, níquel y plomo (grupo I) en tiempo seco.

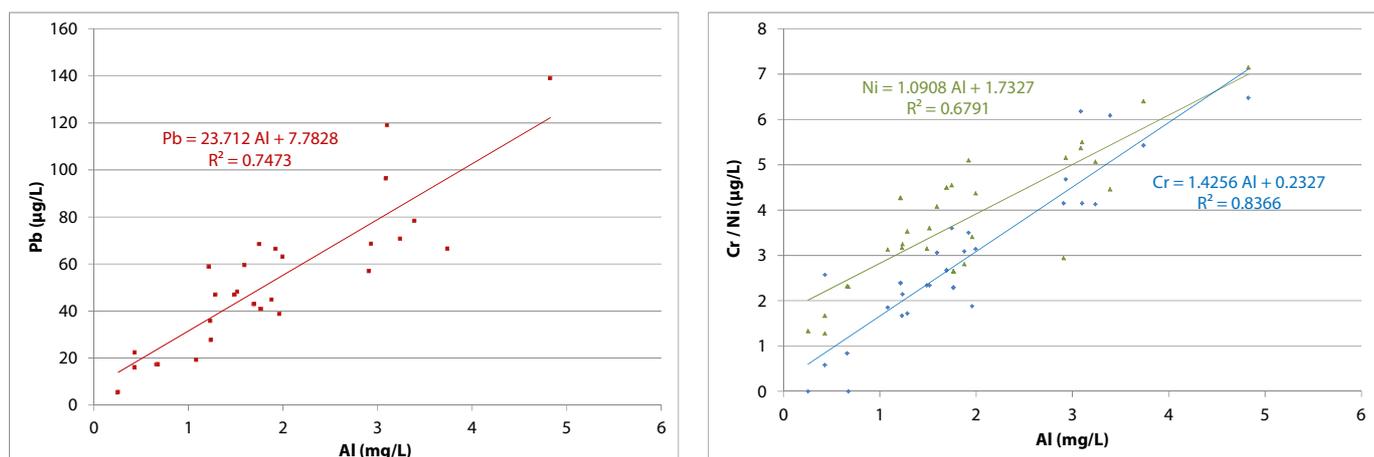


Figura 6-62. Relación entre el aluminio y el cromo, níquel y plomo (grupo I) en tiempo seco.

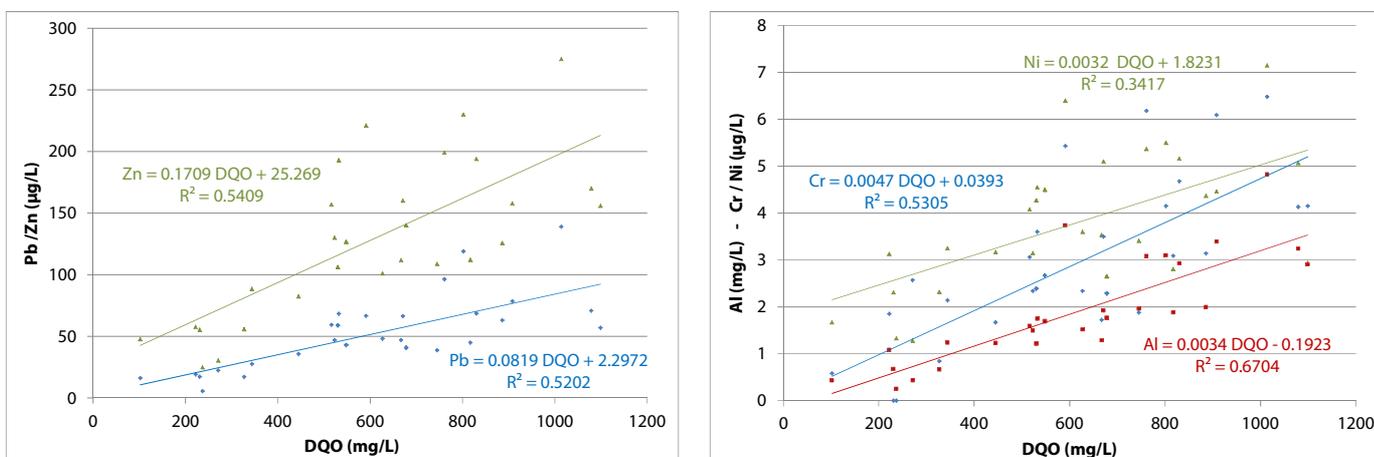


Figura 6-63. Relación entre la DQO y el grupo I de metales en tiempo seco.

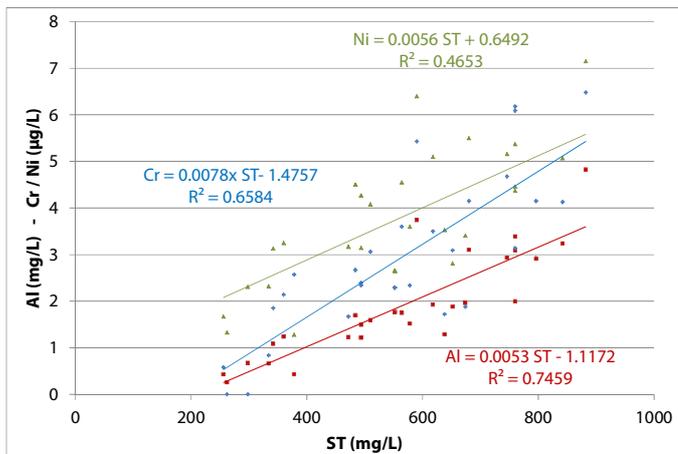
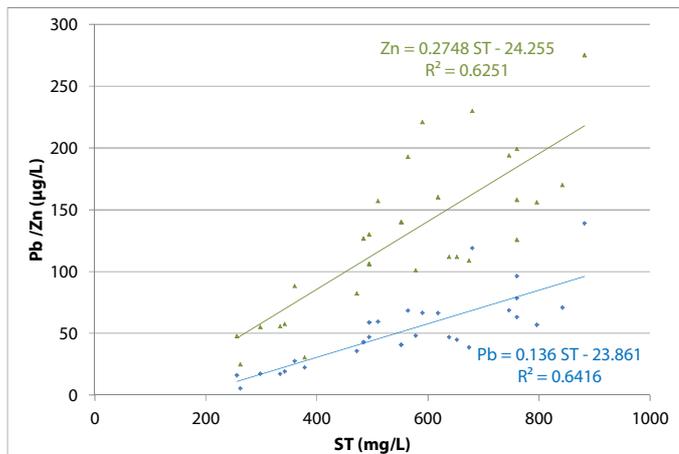


Figura 6-64. Relación entre los ST y el grupo I de metales en tiempo seco.

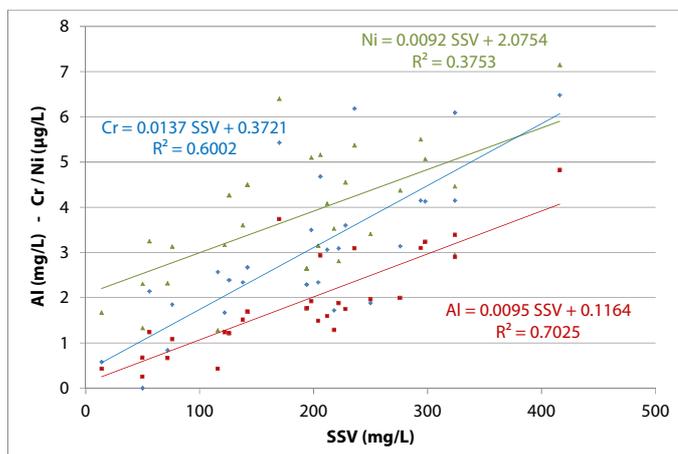
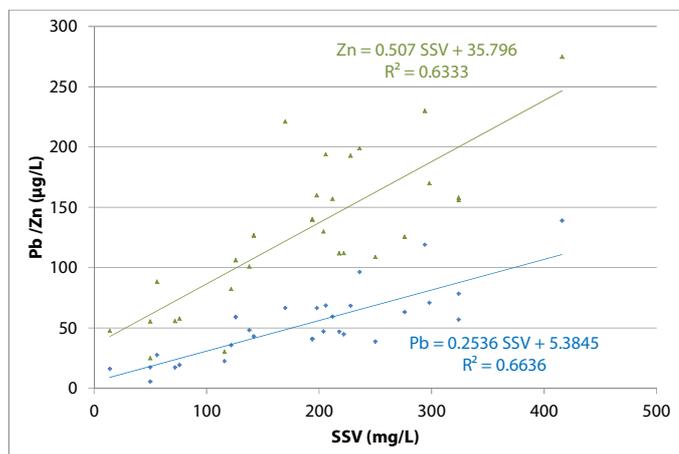


Figura 6-65. Relación entre los SSV y el grupo I de metales en tiempo seco.

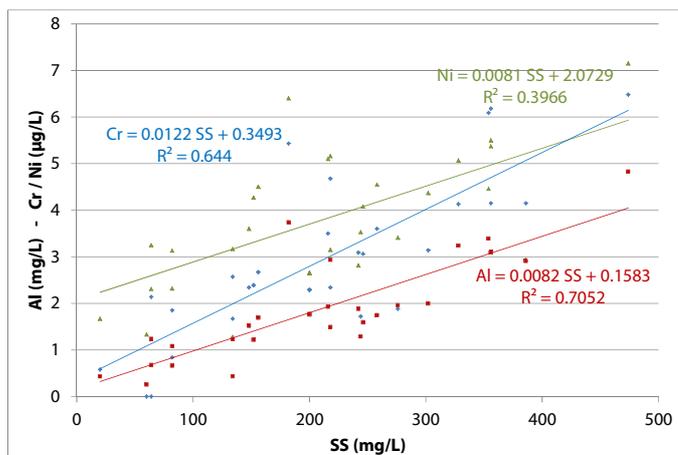
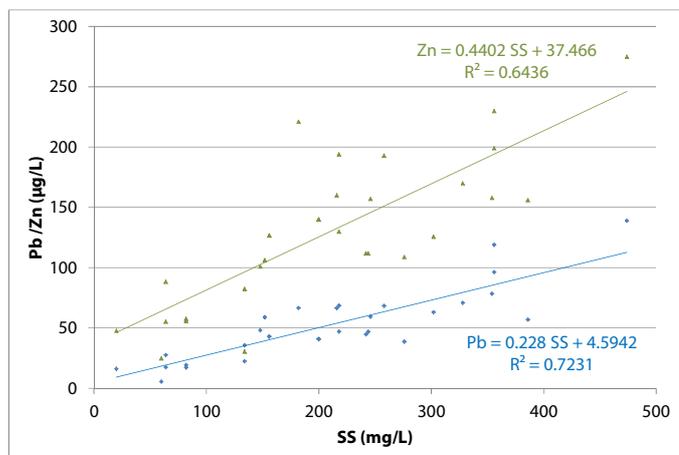


Figura 6-66. Relación entre los SS y el grupo I de metales en tiempo seco.

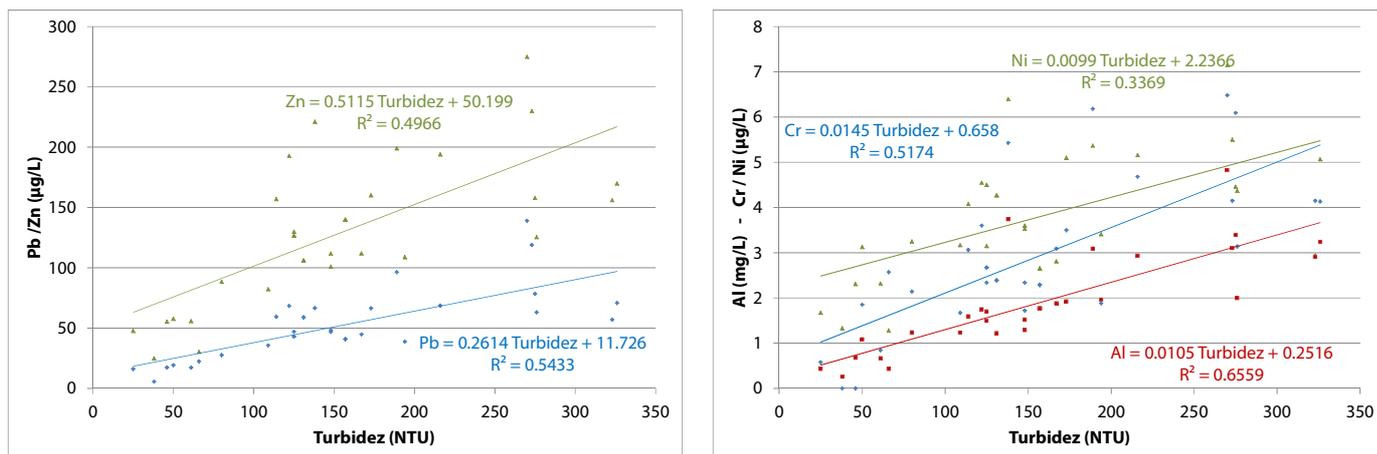


Figura 6-67. Relación entre la turbidez y el grupo I de metales en tiempo seco.

De las gráficas anteriores destacan las siguientes relaciones entre parámetros básicos y metales:

- ✓ Los metales del grupo I están bien relacionados entre sí.
- ✓ Los SS, SSV y ST están moderadamente relacionados con el grupo I de metales a excepción del níquel.

A modo de resumen, se representan, en diagramas de distribución de datos, las concentraciones de los metales totales obtenidas en los flujos de tiempo seco en la cuenca.

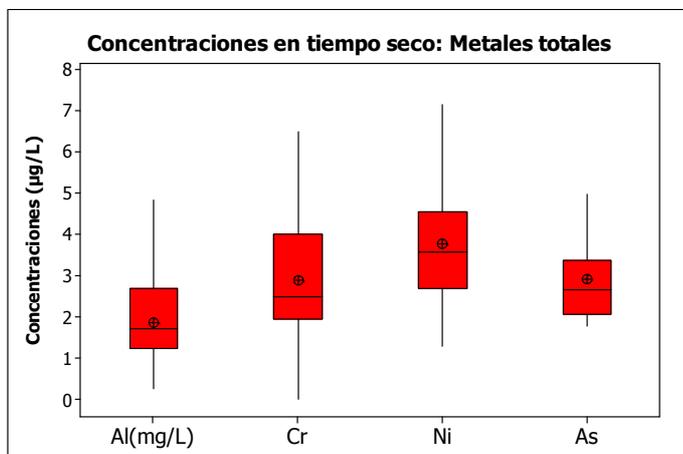


Figura 6-68. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de tiempo seco de Al, Cr, Ni y As.

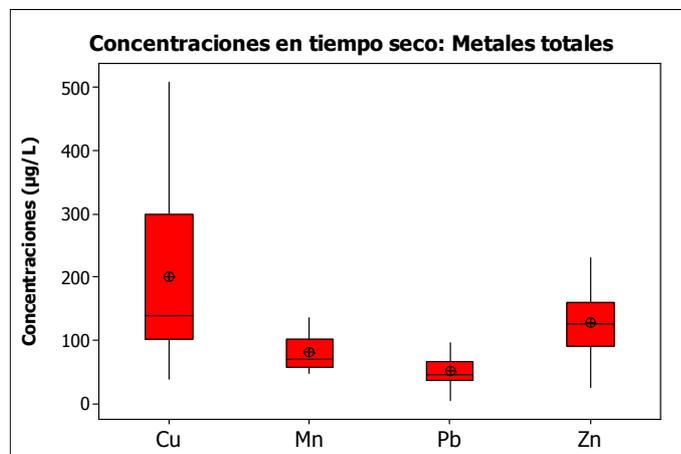


Figura 6-69. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de tiempo seco de Cu, Mn, Pb y Zn.

6.3.3. Análisis de componentes principales de los contaminantes estudiados en tiempo seco

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible.

Con este tipo de análisis se pretende observar si existen altas correlaciones entre las variables (en este caso, las concentraciones de los parámetros de contaminación medidos) ya que esto es indicativo de que existe información redundante y, por tanto, pocos factores explicarán gran parte de la variabilidad total.

La elección de los factores se realiza de tal forma que el primero recoja la mayor proporción posible de la variabilidad original; el segundo factor debe recoger la máxima variabilidad posible no recogida por el primero, y así sucesivamente. Del total de factores se elegirán aquéllos que recojan el porcentaje de variabilidad que se considere suficiente. A éstos se les denominará componentes principales.

Este tipo de análisis se ha realizado para las concentraciones de tiempo seco obtenidas para los parámetros básicos y los metales seleccionados en el programa estadístico MINITAB. La salida que nos ofrece dicho programa es la siguiente:

Tabla 6-29. Análisis de componentes principales: concentraciones de tiempo seco de los parámetros de contaminación seleccionados.

Eigenanalysis of the Correlation Matrix								
Eigenvalue	9.9096	4.5045	1.5608	1.3326	1.0152	0.4841	0.3713	0.1806
Proportion	0.495	0.225	0.078	0.067	0.051	0.024	0.019	0.009
Cumulative	0.495	0.721	0.799	0.865	0.916	0.940	0.959	0.968
Eigenvalue	0.1626	0.1367	0.0922	0.0760	0.0664	0.0382	0.0300	0.0155
Proportion	0.008	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001
Cumulative	0.976	0.983	0.988	0.991	0.995	0.997	0.998	0.999
Eigenvalue	0.0110	0.0058	0.0047	0.0022				
Proportion	0.001	0.000	0.000	0.000				
Cumulative	0.999	1.000	1.000	1.000				
Variable	PC1	PC2						
DQO	0.289	0.173						
DQO_soluble	0.272	0.183						
DBO5	0.286	0.122						
N_total	0.232	-0.015						
N_amoniacal	0.164	-0.045						
P_total	0.267	0.114						
SS	0.288	0.143						
SSV	0.284	0.157						
SD	0.203	0.230						
ST	0.286	0.191						
Turbidez	0.287	0.132						
CF	0.100	0.090						
Al	0.172	-0.348						
Cr	0.158	-0.355						
Cu	0.239	-0.152						
Mn	0.143	-0.240						
Ni	0.173	-0.354						
Pb	0.180	-0.322						
Zn	0.165	-0.358						
As	0.090	-0.249						

En primer lugar aparecen los valores propios (“eigenvalue”) de cada componente principal, y justo debajo la proporción de varianza explicada (“proportion”) por cada uno de ellos y la varianza explicada acumulada (“cumulative”). El objetivo en este caso es aseverar que existe un grupo de contaminantes con la misma tendencia, por ello, tan solo se tendrán en cuenta las dos primeras componentes principales (PC1 y PC2). Ambas explican más del 70% de la varianza.

La representación gráfica de los valores de correlaciones de los contaminantes con ambos componentes principales esclarece las tendencias de los distintos parámetros.

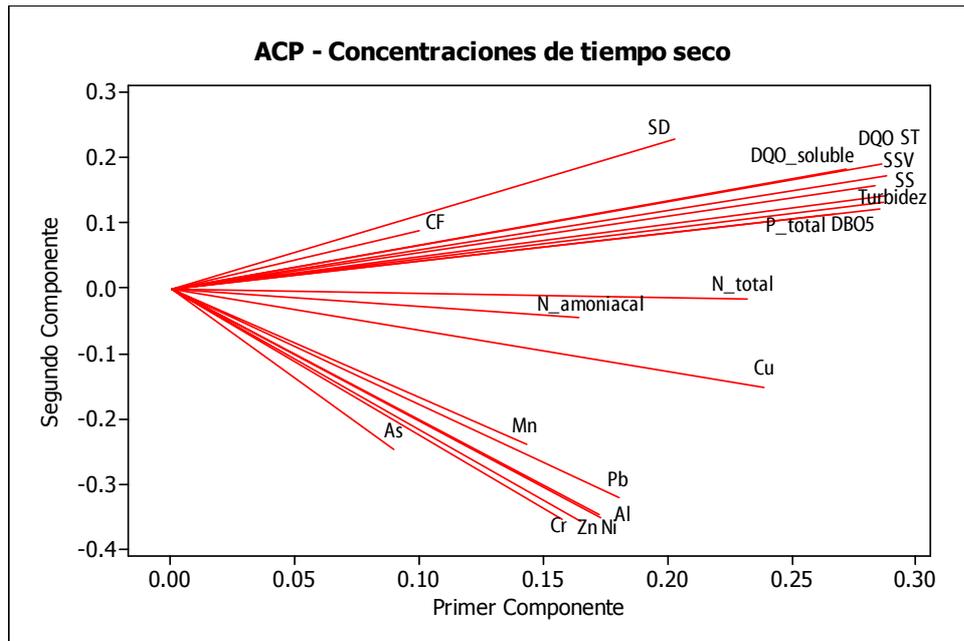


Figura 6-70. ACP de concentraciones obtenidas en tiempo seco para los parámetros seleccionados.

De la figura anterior pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- Los valores de correlación de todos los parámetros de contaminación estudiados son positivos con respecto al primer componente. En consecuencia, este componente podría representar la disminución de los valores de concentración de los contaminantes durante el período nocturno en la cuenca.
- Las correlaciones con el segundo componente principal difieren por grupos de contaminantes. Dicho componente podría representar la variación diurna de la concentración de los contaminantes estudiados. Los grupos serían los siguientes:
 - El primer grupo es el comprendido por los metales (con valores de correlación entre -0.2 y -0.4) cuyas concentraciones máximas diarias se sitúan en torno a las 12:00 del mediodía.
 - El segundo grupo está integrado por el nitrógeno total y amoniacal (correlaciones ligeramente negativas), cuyo valor diario máximo se sitúa por la mañana entre las 7:30 y las 10:30 horas.
 - Por último, el tercer grupo sería el formado por los contaminantes asociados a la materia orgánica y las distintas fracciones de sólidos (con valores de correlación positivos) cuyas concentraciones diarias máximas ocurren por la tarde, entre las 15:00 y 17:00 horas.



CAPÍTULO 7: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN MOVILIZADA EN TIEMPO DE LLUVIA

CAPÍTULO 7. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN MOVILIZADA EN TIEMPO DE LLUVIA

ÍNDICE CAPÍTULO 7

7.1. PRESENTACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS	7-3
7.1.1. Caudales y volúmenes registrados en los sucesos muestreados	7-3
7.1.2. Concentraciones máximas y medias de suceso	7-3
7.1.3. Ratio de masa movilizada asociada a escorrentía	7-10
7.1.4. Cargas específicas movilizadas	7-12
7.1.4.1. Cargas específicas movilizadas por ha	7-12
7.1.4.2. Cargas específicas movilizadas por km ² ·m de red	7-14
7.1.5. Flujos máxicos máxicos asignados a escorrentía	7-16
7.2. ANÁLISIS DE LA MOVILIZACIÓN EN TIEMPO DE LLUVIA DE LOS PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN SELECCIONADOS	7-16
7.3. COMPARACIÓN ENTRE EL AGUA RESIDUAL DE TIEMPO SECO Y DE TIEMPO DE LLUVIA EN LA CUENCA	7-21
7.3.1. Relaciones entre las concentraciones medias de parámetros básicos	7-21
7.3.1.1. Comparación entre la cuenca del “Ensanche” y “Cancelón”	7-23
7.3.2. Distribución por fases de los metales	7-24
7.3.2.1. Comparación entre tiempo seco y tiempo de lluvia en el “Ensanche”	7-24
7.3.2.2. Comparación entre la cuenca del “Ensanche” y “Cancelón”	7-25
7.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN TIEMPO DE LLUVIA	7-27
7.4.1. Análisis de correlación entre los parámetros de contaminación seleccionados	7-28
7.4.1.1. Análisis de correlación de concentraciones entre contaminantes seleccionados	7-28
7.4.1.1.1. Parámetros básicos	7-28
7.4.1.1.2. Metales seleccionados	7-32
7.4.1.2. Análisis de correlación de parámetros característicos de los sucesos muestreados	7-36
7.4.2. Análisis de componentes principales	7-47
7.4.2.1. Concentraciones máxicas de suceso (C _{MAX})	7-47
7.4.2.2. Concentraciones medias de suceso (C _{MS})	7-48
7.4.3. Análisis de concentraciones y cargas movilizadas en la cuenca	7-49
7.4.3.1. Consumidores de oxígeno	7-51
7.4.3.1.1. Análisis de C _{MAX} , C _{MS} y C _{MOV} en los sucesos muestreados	7-51
7.4.3.1.2. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca	7-53
7.4.3.1.3. Comparación de C _{MAX} , C _{MS} y C _{MOV} con otras cuencas estudiadas	7-54
7.4.3.2. Carbono orgánico total y disuelto (COT y COD)	7-57
7.4.3.2.1. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca	7-57
7.4.3.2.2. Comparación de C _{MAX} y C _{MS} con otras cuencas estudiadas	7-57
7.4.3.3. Formas de nitrógeno	7-58
7.4.3.3.1. Análisis de C _{MAX} , C _{MS} y C _{MOV} en los sucesos muestreados	7-58

7.4.3.3.2. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca.....	7-60
7.4.3.3.3. Comparación de CMAX, CMS Y CMOV con otras cuencas estudiadas.....	7-61
7.4.3.4. Formas de fósforo	7-65
7.4.3.4.1. Análisis de CMAX, CMS y CMOV en los sucesos muestreados.....	7-65
7.4.3.4.2. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca.....	7-66
7.4.3.4.3. Comparación de CMAX, CMS Y CMOV con otras cuencas estudiadas.....	7-67
7.4.3.5. Sólidos y turbidez	7-70
7.4.3.5.1. Análisis de CMAX, CMS y CMOV en los sucesos muestreados.....	7-70
7.4.3.5.2. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca.....	7-72
7.4.3.5.3. Comparación de CMAX, CMS Y CMOV con otras cuencas estudiadas.....	7-74
7.4.3.6. Bacteriología	7-82
7.4.3.6.1. Análisis de CMAX y CMS en los sucesos muestreados.....	7-82
7.4.3.6.2. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca.....	7-83
7.4.3.6.3. Comparación de CMAX y CMS con otras cuencas estudiadas.....	7-83
7.4.3.7. Metales	7-84
7.4.3.7.1. Análisis de CMAX, CMS y CMOV en los sucesos muestreados.....	7-84
7.4.3.7.2. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca.....	7-88
7.4.3.7.3. Comparación con otras cuencas estudiadas.....	7-90
7.4.3.7.4. Comparación de CMAX y CMS con legislación de vertido y calidad en medio receptor.....	7-94
7.4.3.7.5. Comparación de CMAX y CMS con concentraciones de inhibición de procesos biológicos en EDAR.....	7-97
7.4.3.8. Resumen de los resultados obtenidos para los parámetros básicos en las cuencas analizadas	7-98
7.4.3.9. Comparación de los resultados obtenidos en la cuenca "Ensanche" con los de estudios recientes para los principales contaminantes	7-99
7.5. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE PARÁMETROS HIDROLÓGICO-HIDRÁULICOS Y DE CONTAMINACIÓN.....	7-102
7.5.1. Correlación entre parámetros hidrológico-hidráulicos y las CMAX, CMS y CMOV de los principales parámetros básicos.....	7-102
7.5.2. Índices de predicción de la contaminación	7-104
7.5.2.1. Índice de primer lavado (IPL).....	7-105
7.5.2.2. Índice de concentración media de suceso (ICMS)	7-108
7.5.2.3. Índice de movilización específica (IMOVE).....	7-111
7.6. SUSTANCIAS PRIORITARIAS Y PPCPs.....	7-114
7.6.1. Sustancias prioritarias	7-114
7.6.2. Contaminantes emergentes o PPCPs.....	7-117
7.6.2.1. Concentraciones máximas y medias de suceso.....	7-118
7.6.2.2. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca.....	7-119
7.6.2.3. Distribución de concentraciones por fases.....	7-123
7.6.2.4. Análisis de correlaciones	7-124
7.6.2.5. Comparación de los resultados con la bibliografía	7-125

CAPÍTULO 7. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN MOVILIZADA EN TIEMPO DE LLUVIA

7.1. PRESENTACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS

7.1.1. Caudales y volúmenes registrados en los sucesos muestreados

El caudal máximo registrado en la cuenca del “Ensanche” durante los diez sucesos muestreados fue de 447 L/s, lo que supone un valor 20 veces el del caudal medio de tiempo seco, y este valor se produjo durante el suceso SUC_211008. El caudal máximo registrado en la cuenca durante los 14 meses en los que estuvo instalado el caudalímetro fue de 1024 L/s (46 veces el caudal medio de tiempo seco). En la siguiente tabla se muestran los valores de caudales máximo, mínimo y medio durante los sucesos muestreados, así como los valores de los cocientes entre el caudal máximo y el medio y el máximo y el caudal medio de tiempo seco. También se presentan los volúmenes de cada suceso muestreado, separándose la fracción que corresponde a la escorrentía de la del caudal base de tiempo seco.

Tabla 7-1. Resumen de caudales y volúmenes registrados durante los sucesos muestreados.

Sucesos de lluvia	SUC_061008	SUC_211008	SUC_120109	SUC_150409	SUC_250409	SUC_100509	SUC_230509	SUC_040609	SUC_250609	SUC_240809
DATOS PLUVIOMÉTRICOS										
Duración del tiempo seco precedente (días)	13.6	4.8	9.9	0.8	6.9	0.2	6.3	0.2	14.4	22.9
Precipitación total (mm)	1.2	9.7	4.4	2.0	1.8	2.6	4.6	1.4	1.1	4.2
Intensidad media de suceso (mm/h)	0.9	6.5	1.5	1.5	1.8	2.6	3.1	4.2	1.3	2.8
Intensidad diezminutal máxima (mm/h)	1.8	12.6	4.2	3.6	2.4	7.2	4.8	4.8	3.0	4.8
CAUDALES DEL SUCESO MUESTREADO (L/s)										
MÍNIMO	35.1	102.1	51.0	28.9	25.2	46.5	75.0	42.6	45.9	36.1
MÁXIMO	90.6	446.8	133.1	132.6	107.5	91.3	169.5	204.5	106.1	125.0
MEDIO	60.3	183.8	98.4	58.0	64.0	65.1	135.4	105.3	69.7	81.2
COEF. PUNTA (Qmax/Qmin)	3.2	4.4	2.6	4.6	4.3	2.0	2.3	6.1	2.6	3.5
Q máximo / Qm tiempo seco	4.0	19.9	5.9	5.9	4.8	4.1	7.6	9.1	4.7	5.6
VOLÚMENES (m³)										
TOTAL DEL SUCESO	114.7	784.3	443.8	301.0	273.4	281.8	589.6	235.7	138.7	390.7
ASIGNADO A TIEMPO SECO	63.7	111.2	135.4	124.9	103.9	116.8	105.8	63.3	71.6	120.4
ASIGNADO A ESCORRENTÍA	51.0	673.0	308.4	176.1	169.5	165.0	483.8	172.4	67.0	270.3
% ESCORRENTÍA/TOTAL	44.4	85.8	69.5	58.5	62.0	58.5	82.1	73.1	48.3	69.2

La relación entre el caudal máximo y el caudal medio de un suceso da una idea del apuntamiento del hidrograma.

El suceso más pluviométrico fue el SUC_211008, en el que se registró un volumen total de 784.3 m³, de los que aproximadamente un 86% corresponden a escorrentía pluvial. La fracción de volumen de escorrentía en los sucesos muestreados oscila desde el 44% hasta el citado 86%.

7.1.2. Concentraciones máximas y medias de suceso

Las concentraciones máximas y medias de suceso medidas en el laboratorio se presentan en las siguientes tablas y se comparan con los valores obtenidos en las campañas de tiempo seco, se han destacado en negrita los valores máximos para cada parámetro de contaminación en cada caso. En este apartado se valorarán los resultados obtenidos en el caso de los parámetros básicos y metales y cationes. Posteriormente, se evaluarán los resultados obtenidos para las sustancias prioritarias y los “PPCPs” en su apartado correspondiente.

Tabla 7-2. Concentraciones máximas de contaminantes en los sucesos muestreados.

	CONCENTRACIONES MÁXIMAS										
	TIEMPO SECO	SUC_061008	SUC_211008	SUC_120109	SUC_150409	SUC_250409	SUC_100509	SUC_230509	SUC_040609	SUC_250609	SUC_240809
DQO (mg/L)	1103	886	3388	1639	1221	2142	1273	3062	1081	3868	3044
DQO soluble (mg/L)	442	187	452	255	231	202	282	369	168	439	429
DBO ₅ (mg/L)	850	580	1700	946	540	1328	620	1650	580	2100	2100
COT (mg/L)	201	108	61	53	93	140	87	581	120	750	389
COD (mg/L)	63.3	64.5	50.3	43.1	55.2	49.1	42.7	66.4	43.0	330	47.9
Nitrógeno total (mg/L)	79.8	87	111	58.9	72.3	78.9	62.3	92.3	42	172	92.7
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	61.0	53.3	34.2	30.3	50.3	34.5	28.8	37.9	22.4	57.1	31
P total (mg/L)	10.7	11.8	24.8	11.6	9.73	18.7	9.65	22.6	6.61	28.4	24.8
P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)	8.5	7.6	11.4	4	5.12	7.06	5.78	12.3	3.38	16.2	6.02
SS (mg/L)	474	437	2240	804	636	1580	568	1668	572	2708	3185
SSV (mg/L)	416	374	1908	668	516	1352	472	1388	414	2244	2640
SD (mg/L)	508	376	320	248	290	356	350	432	346	876	386
SDV (mg/L)	234	86	152	70	80	120	138	204	206	696	282
ST (mg/L)	882	902	2542	1132	952	1848	872	2048	904	3260	3452
STV (mg/L)	622	542	1986	792	652	1440	570	1586	616	2556	2788
Turbidez (UFT)	326	245	740	357	260	548	237	598	190	717	1570
Conductividad a 20°(µs/cm)	859	1021	543	574	791	740	661	760	407	839	717
pH	7.8	7.33	7.58	6.41	7.09	6.69	7.06	6.13	6.29	6.42	6.62
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	330	311	152	160	228	212	204	216	120	292	192
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	83	112	260	141	73	152	66	153	--	182	200
CF (UFC/100mL)	5.0E+09	7.00E+07	1.80E+07	2.10E+07	1.30E+07	4.50E+07	4.30E+07	6.00E+07	8.60E+07	2.00E+08	1.20E+08
Aluminio total (mg/L)	4.80	3.0	8.6	7.1	5.3	8.6	4.1	10.4	--	12.5	19.7
Bario total (µg/L)	136.0	250.0	186.8	147.1	172.4	421.7	168.1	365.9	--	458.0	611.0
Cadmio total (µg/L)	0.50	0.33	0.37	0.19	--	--	0.36	0.67	--	--	1.59
Cromo total (µg/L)	6.5	8.1	18.2	20.5	24.7	39.9	11.9	26.4	--	--	39.5
Cobalto total (µg/L)	2.90	1.7	4.6	16.1	4.2	5.0	2.3	11.5	--	--	3.1
Cobre total (µg/L)	508.0	1311.6	563.6	780.1	729.8	1136.6	473.1	4015.5	--	3000.0	740.0
Hierro total (mg/L)	2.40	1.4	7.7	5.7	4.5	5.9	2.0	5.8	--	8.2	15.6
Mercurio total (µg/L)	2.60	0.5	1.8	1.3	--	--	1.6	4.9	--	--	9.1
Manganeso total (µg/L)	136.0	115.6	259.4	166.9	120.3	200.6	103.9	217.7	--	346.0	279.0
Níquel total (µg/L)	7.2	6.5	25.6	19.1	14.6	37.3	12.2	22.3	--	33.0	18.5
Plomo total (µg/L)	139.0	120.6	354.6	202.0	121.9	266.7	93.8	341.7	--	370.0	1126.0
Zinc total (µg/L)	275.0	251.7	630.2	497.8	276.2	600.6	284.1	737.5	--	710.0	1156.0
Arsénico total (µg/L)	5.70	4.2	5.3	5.5	6.8	6.2	3.9	7.6	--	--	11.3
Boro total (µg/L)	257.5	107.5	57.0	65.2	70.6	89.3	86.0	82.1	--	--	138.0
Molibdeno total (µg/L)	1.60	1.3	3.1	3.0	2.1	3.6	2.5	4.7	--	--	4.6
Silicio total (mg/L)	11.9	8.2	16.3	14.6	10.3	16.2	8.7	12.8	--	--	25.4
Vanadio total (µg/L)	4.0	2.7	12.6	11.1	8.5	10.9	6.8	12.4	--	--	18.6
Na ⁺ (mg/L)	96.7	100.8	34.6	69.3	55.5	64.9	51.5	53.0	22.0	36.9	64.6
K ⁺ (mg/L)	25.2	25.7	21.1	20.6	24.7	25.1	19.9	20.8	10.1	16.7	17.8
Ca ²⁺ total (mg/L)	25.3	34.5	87.8	45.5	22.0	49.4	19.6	50.6	12.0	60.0	66.9
Mg ²⁺ (mg/L)	5.9	7.3	11.5	7.7	5.0	8.0	5.2	7.6	2.1	9.1	9.4
Fluoruros (µg/L)	46.0	36.0	53.0	102.0	--	--	--	--	--	--	--
Cloruros (mg/L)	84.3	90.7	31.5	50.0	--	--	--	--	--	--	--
Cianuros (µg/L)	35.7	27.5	10.6	5.1	--	--	--	--	--	--	--
Fenoles (µg/L)	17.0	150.0	4.1	0.0	--	--	--	--	--	--	--
COVs totales (µg/L)	17.6	9.7	14.5	24.5	--	--	--	--	--	--	--
Hidrocarburos totales de petróleo (µg/L)	2.2	1.2	1.8	10.6	--	--	--	--	--	--	--
Aceites y grasas (mg/L)	108.2	101.9	90.6	30.4	56.5	197.5	120.3	--	160.0	65.0	171.7
HAPs totales (µg/L)	11.1	41.0	72.3	3.5	7.3	0.7	1.5	--	--	--	--
Galaxolide total (µg/L)	2.57	1.78	2.07	2.14	1.29	2.85	2.71	3.65	2.47	4.94	9.76
Tonalide total (µg/L)	1.26	0.99	0.15	1.09	0.59	0.36	1.23	0.69	1.38	2.58	1.13
Ibuprofeno total (µg/L)	2.11	1.90	1.66	3.01	2.60	7.06	8.51	2.03	0.75	0.48	1.55
Diclofenaco total (µg/L)	0.51	0.12	0.14	0.08	0.09	0.01	0.01	0.02	<0.006	0.31	0.08
Carbamazepina total (µg/L)	0.07	0.07	0.06	0.05	--	0.01	0.01	0.04	0.02	0.03	0.02
Cafeína total (µg/L)	44.6	2.1	1.3	6.5	6.5	32.9	24.3	15.0	21.2	21.5	28.6
Paracetamol total (µg/L)	0.72	--	--	--	--	4.88	5.71	0.20	0.26	0.33	0.18

De las tablas anteriores se puede concluir que los valores máximos de la mayoría de los parámetros de contaminación se producen en los sucesos SUC_250609 y SUC_240809, lo cual parece lógico puesto que son los sucesos con mayor período de tiempo seco precedente (2 y 3 semanas, respectivamente).

Los valores máximos obtenidos para los consumidores de oxígeno DQO y DBO₅ son, respectivamente, 3868 y 2100 mg/L, lo cual supone una concentración 5.9 y 5.4 veces superior a las concentraciones medias de tiempo seco respectivas. En el caso de los sólidos en suspensión totales (SS), sólidos en suspensión volátiles (SSV) y sólidos totales (ST) las concentraciones máximas fueron de 3185, 2640 y 3452 mg/L respectivamente, esto supone 14, 13.4 y 5.8 veces las concentraciones medias de tiempo seco respectivas. Para los nutrientes las concentraciones máximas de nitrógeno y fósforo total han sido de 172 y 28.4 mg/L respectivamente, siendo estos unos valores superiores en 3.1 y 3.8 veces los medios de tiempo seco respectivos. En cuanto a los metales, en la siguiente tabla se muestra la concentración máxima obtenida en tiempo de lluvia y la relación entre ésta y la concentración media de tiempo seco para cada uno.

Tabla 7-3. Concentraciones máximas en tiempo de lluvia y comparación con la CMDTS de los metales medidos.

	CMAX	CMAX / CMDTS
Aluminio total (mg/L)	20	8.9
Bario total (µg/L)	611	10.0
Cadmio total (µg/L)	2	6.7
Cromo total (µg/L)	40	11.9
Cobalto total (µg/L)	16	12.7
Cobre total (µg/L)	4015	19.0
Hierro total (mg/L)	16	17.6
Mercurio total (µg/L)	9	12.2
Manganeso total (µg/L)	346	4.1
Níquel total (µg/L)	37	9.0
Plomo total (µg/L)	1126	18.9
Zinc total (µg/L)	1156	8.0
Arsénico total (µg/L)	11	3.7
Boro total (µg/L)	138	1.4
Molibdeno total (µg/L)	5	5.5
Silicio total (mg/L)	25	2.9
Vanadio total (µg/L)	19	12.3

De la tabla anterior puede extraerse que los valores máximos que se obtienen en los metales en tiempo de lluvia son sensiblemente superiores a los medios de tiempo seco destacando las concentraciones máximas que se alcanzan para el bario, cromo, cobre, hierro, mercurio, plomo y vanadio, siendo éstas más de 10 veces superiores a las medias de tiempo seco.

A continuación, a modo de ejemplo, se presentan algunos polutogramas obtenidos en los sucesos muestreados en los que se observan unas elevadas concentraciones de contaminación en la parte inicial de los hidrogramas en tiempo de lluvia.

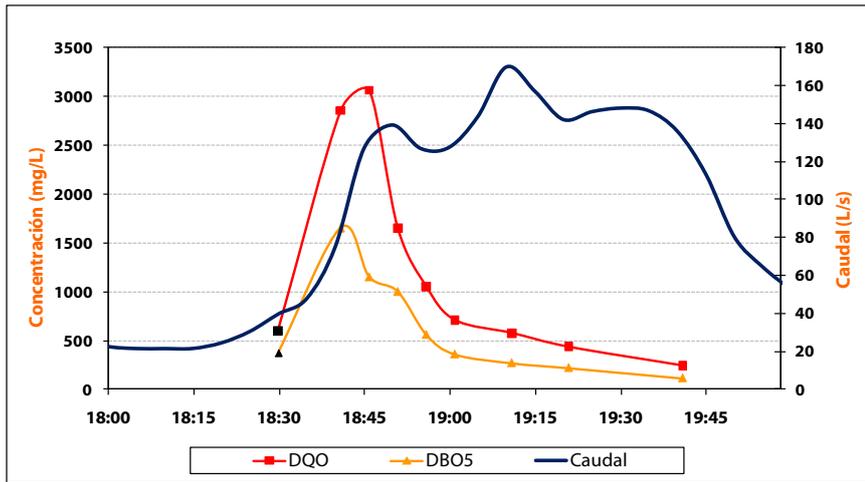


Figura 7-1. Polutogramas de consumidores de oxígeno del suceso SUC_230509.

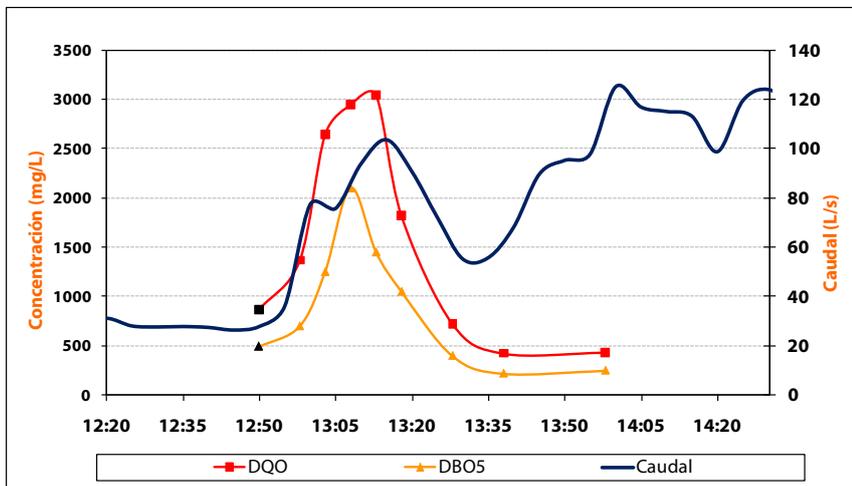


Figura 7-2. Polutogramas de consumidores de oxígeno del suceso SUC_240809.

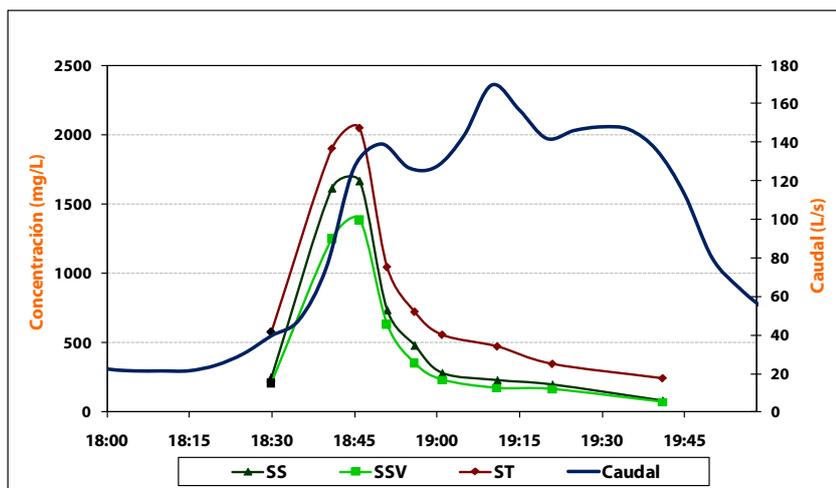


Figura 7-3. Polutogramas de sólidos (SS, SSV, ST) del suceso SUC_230509.

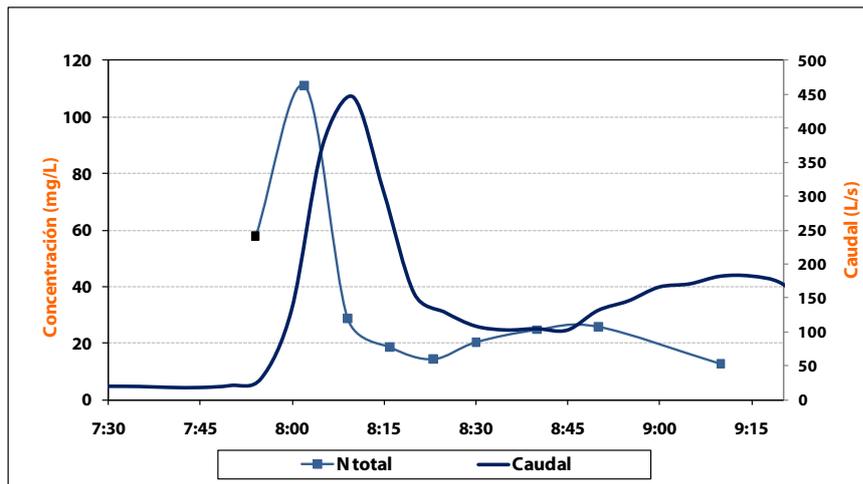


Figura 7-4. Polutograma de nitrógeno total del suceso SUC_211008.

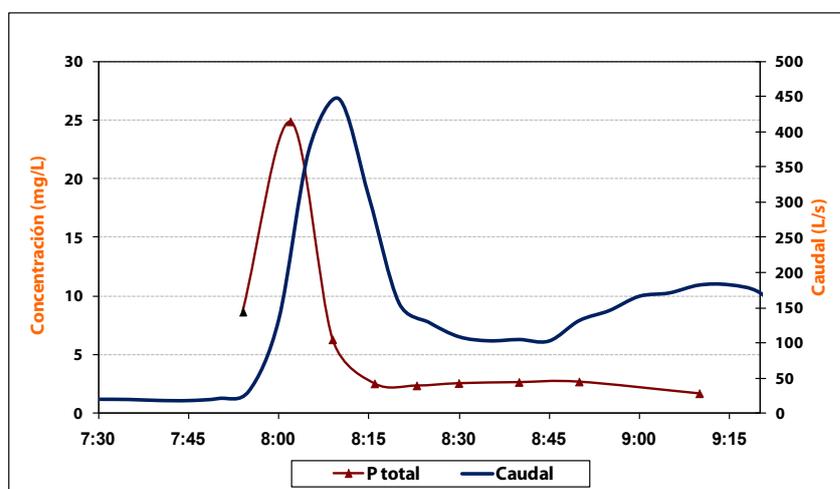


Figura 7-5. Polutograma de fósforo total del suceso SUC_211008.

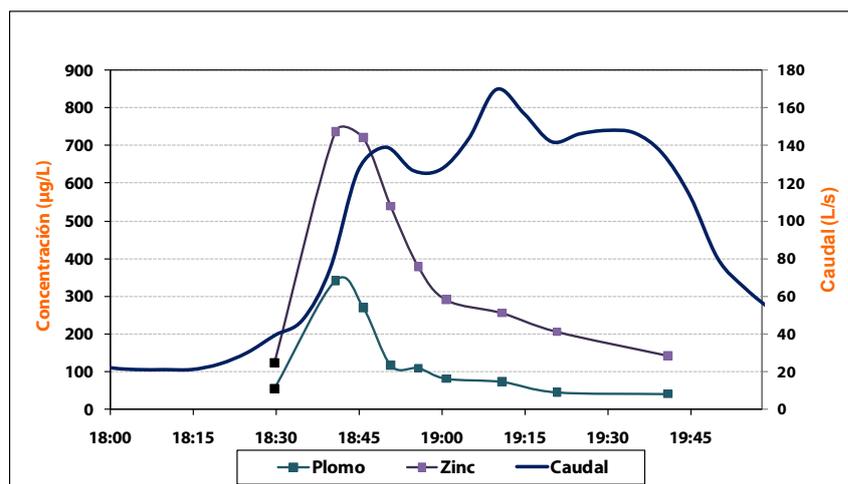


Figura 7-6. Polutogramas de plomo y zinc totales del suceso SUC_230509.

Uno de los parámetros más importantes a la hora de realizar la caracterización de un suceso es la concentración media de suceso (CMS), cuyos valores para cada contaminante en los sucesos muestreados se presentan en la siguiente tabla. Para poder comparar estos valores con los de tiempo seco también se expone la concentración media diaria de

tiempo seco (CMDTS) de cada parámetro de contaminación medido. Se resaltan en negrita los valores máximos de CMS para cada contaminante obtenidos durante los sucesos muestreados, la mayoría de éstos tienen lugar en el suceso SUC_250609.

Tabla 7-4. Concentraciones medias de suceso (CMS) de contaminantes en los sucesos muestreados.

	CMDTS	CMS									
	TIEMPO SECO	SUC_061008	SUC_211008	SUC_120109	SUC_150409	SUC_250409	SUC_100509	SUC_230509	SUC_040609	SUC_250609	SUC_240809
DQO (mg/L)	660	652	536	860	909	1049	707	821	512	2405	1175
DQO soluble (mg/L)	234	169	77	139	139	98	184	89	89	263	204
DBO ₅ (mg/L)	390	405	260	426	438	609	369	405	263	1348	655
COT (mg/L)	105.6	90.7	17.9	26.0	46.8	62.6	39.1	89.3	67.5	388.0	114.6
COD (mg/L)	49.6	50.9	13.6	22.1	33.2	24.0	29.5	19.5	17.2	131.5	25.2
Nitrógeno total (mg/L)	55.2	80.1	28.3	37.4	47.0	41.1	40.2	29.1	21.3	117.6	44.8
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	37.4	50.3	9.6	14.8	25.3	16.4	22.1	10.5	9.5	41.8	14.0
P total (mg/L)	7.5	10.4	4.9	6.9	8.0	8.9	6.0	7.0	4.3	19.0	8.6
P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)	5.1	6.9	2.2	2.5	3.4	3.4	3.3	3.3	1.6	11.0	2.9
SS (mg/L)	227	278	362	471	450	556	304	383	263	1447	811
SSV (mg/L)	197	243	280	355	376	450	245	312	178	1137	653
SD (mg/L)	326	347	97	146	188	186	246	231	186	508	237
SDV (mg/L)	111	73	53	45	56	46	85	109	84	359	130
ST (mg/L)	595	689	472	644	765	793	513	602	444	1987	1107
STV (mg/L)	340	380	338	398	525	569	325	419	261	1495	800
Turbidez (UFT)	161	158	124	200	199	203	140	162	114	467	415
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	212	292	58	106	133	116	134	83	65	228	106
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	67.1	82.4	72.3	86.3	65.3	75.1	42.9	53.8	--	108.2	81.7
CF (UFC/100mL)	3.2E+08	5.14E+07	6.71E+06	6.28E+06	1.03E+07	1.56E+07	1.66E+07	1.54E+07	3.68E+07	1.25E+08	6.82E+07
Aluminio total (mg/L)	2.2	1.5	2.9	4.3	4.0	4.1	2.2	3.4	--	5.7	7.6
Bario total (µg/L)	61.1	104.9	86.6	96.1	147.7	206.4	125.2	150.0	--	308.9	223.8
Cadmio total (µg/L)	0.24	0.30	0.10	0.10	--	--	0.20	0.20	--	--	0.40
Cromo total (µg/L)	3.4	3.2	4.9	11.7	13.3	14.8	8.5	10.6	--	--	17.4
Cobalto total (µg/L)	1.3	1.1	1.6	8.5	3.0	2.7	1.8	2.5	--	--	1.2
Cobre total (µg/L)	211.7	379.7	183.4	417.9	339.7	393.0	189.5	521.7	--	1987.3	255.4
Hierro total (mg/L)	0.9	0.9	2.6	3.5	3.6	3.1	1.4	3.0	--	4.9	7.3
Mercurio total (µg/L)	0.74	0.30	0.40	0.70	--	--	0.70	1.40	--	--	2.40
Manganeso total (µg/L)	84.3	85.4	73.8	101.3	94.8	108.5	73.6	91.1	--	206.9	122.9
Niquel total (µg/L)	4.1	4.8	9.1	12.2	12.2	13.7	9.3	10.5	--	19.9	7.6
Plomo total (µg/L)	59.5	58.3	94.6	94.9	92.1	108.9	60.9	87.4	--	186.6	267.5
Zinc total (µg/L)	144.8	157.4	232.7	330.7	234.9	302.8	209.2	293.7	--	389.1	440.7
Arsénico total (µg/L)	3.05	3.4	2.7	3.7	4.7	3.7	3.2	3.7	--	--	5.7
Boro total (µg/L)	101.5	92.6	26.9	39.5	52.9	50.2	74.7	40	--	--	61.6
Molibdeno total (µg/L)	0.86	1.00	1.20	1.90	1.70	2.00	2.20	2.10	--	--	2.40
Silicio total (mg/L)	8.7	6.9	6.5	9.8	8	7.8	5	5.1	--	--	11.8
Vanadio total (µg/L)	1.51	1.5	5.4	7.3	7.3	7.2	5.5	7.6	--	--	9.9
Na ⁺ (mg/L)	66.2	83.5	13.7	32.6	32.1	28.9	29.1	16.8	15.2	28.4	29.5
K ⁺ (mg/L)	19.3	22.7	6.9	12	15.1	12.4	12.8	8	7.3	13.4	10
Ca ²⁺ total (mg/L)	20.2	24.4	23.7	27.8	20	24.2	12.7	17.3	8.6	35.3	26.3
Mg ²⁺ (mg/L)	4.8	6.1	3.7	4.8	4.4	4.2	3.2	3	1.3	5.7	4.5
Fluoruros (µg/L)	36.0	34	37.2	94.1	--	--	--	--	--	--	--
Cloruros (mg/L)	57.4	72.2	12.2	23.6	--	--	--	--	--	--	--
Cianuros (µg/L)	13.3	24.6	5.4	0.2	--	--	--	--	--	--	--
Fenoles (µg/L)	8.9	100.1	3.9	0.0	--	--	--	--	--	--	--
COVs totales (µg/L)	14.3	8.7	11.9	14.2	--	--	--	--	--	--	--
Hidrocarburos totales de petróleo (µg/L)	1.1	1.1	1.7	4.0	--	--	--	--	--	--	--
Aceites y grasas (mg/L)	53.0	62.1	16.3	11.3	27.4	87.6	57.8	--	62.2	41.6	71.5
HAPs totales (µg/L)	4.5	29.9	36.8	0.9	2.7	0.5	0.6	--	--	--	--
Galaxolide total (µg/L)	0.618	0.762	0.621	1.002	0.426	1.105	1.875	0.839	1.054	3.745	2.522
Tonalide total (µg/L)	0.305	0.410	0.107	0.522	0.213	0.086	0.442	0.069	0.652	1.735	0.241
Ibuprofeno total (µg/L)	0.249	1.211	0.791	0.409	0.332	3.163	5.297	0.977	0.110	0.218	0.262
Diclofenaco total (µg/L)	0.102	0.090	0.103	0.037	0.042	0.003	0.004	0.012	<0.006	0.180	0.026
Carbamazepina total (µg/L)	0.009	0.028	0.015	0.029	--	0.005	0.003	0.016	0.015	0.019	0.009
Cafeína total (µg/L)	11.603	0.826	0.573	0.796	0.589	18.905	15.529	9.544	7.834	8.785	13.862
Paracetamol total (µg/L)	0.158	--	--	--	--	2.848	4.139	0.100	0.142	0.138	0.104

CMDTS: Concentración media diaria de tiempo seco ponderada a caudal

En el análisis de los resultados de la tabla anterior se ha exceptuado el suceso SUC_250609 cuyos resultados de concentraciones medias de suceso en la práctica totalidad de los parámetros son muy altos debido a sus características, suceso corto y energético con hidrograma apuntado y tras un período de tiempo seco precedente amplio (2 semanas). Las conclusiones en el análisis de las CMS del resto de sucesos son las siguientes:

- ✓ Los parámetros que se presentan en una concentración inferior en tiempo de lluvia con respecto al tiempo seco son el N total y el amoniacal, los fosfatos, los sólidos disueltos totales y volátiles, la alcalinidad, el sodio y los coliformes fecales.
- ✓ Los parámetros de contaminación con concentraciones medias de suceso del orden o inferiores a las medias diarias de tiempo seco son la DQO soluble y el carbono orgánico tanto total como disuelto.
- ✓ Los parámetros del mismo orden de concentración media tanto en tiempo seco como de lluvia son el P total y los cationes potasio y magnesio.
- ✓ Los consumidores de oxígeno DQO y DBO₅, los sólidos totales y volátiles, la turbidez, la dureza y el calcio presentan concentraciones medias de suceso del mismo orden o superiores a las medias de tiempo seco.
- ✓ Los parámetros de contaminación cuyas concentraciones medias de suceso siempre son superiores a las medias de tiempo seco son los sólidos en suspensión tanto totales como volátiles y todos los metales a excepción del boro (cuyo valor medio siempre es inferior al de tiempo seco) y el silicio.

A pesar de que las concentraciones máximas y medias de coliformes fecales en tiempo de lluvia han sido inferiores a las de tiempo seco cabe destacar que el valor mínimo en todas las muestras de los sucesos recogidos nunca fue inferior a 1E+06, como puede apreciarse en la figura siguiente. Además, como es lógico, las concentraciones registradas de este parámetro guardan, en general, proporción inversa a la pluviometría del suceso caracterizado.

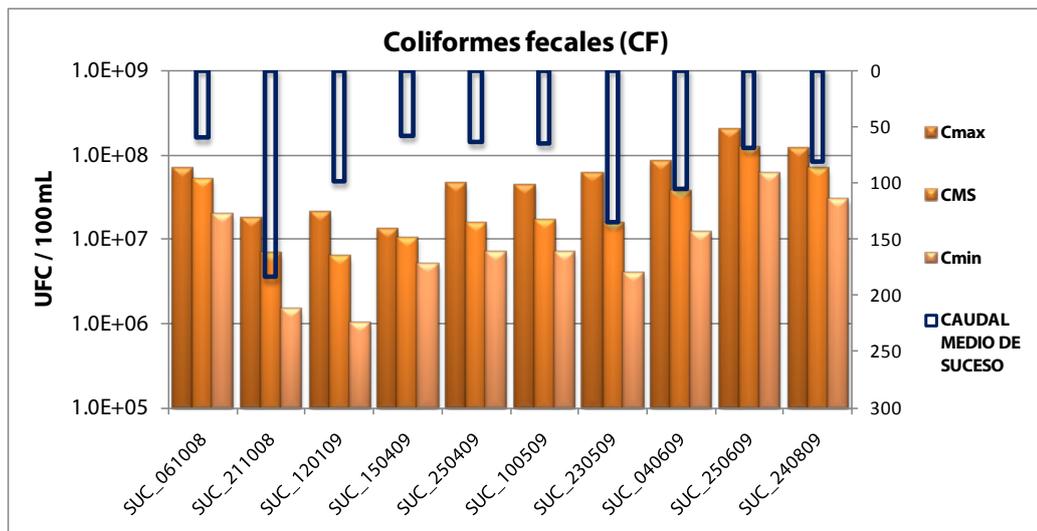


Figura 7-7. Concentraciones máximas, medias y mínimas de coliformes fecales en los sucesos muestreados.

7.1.3. Ratio de masa movilizada asociada a escorrentía

La relación entre la masa de escorrentía movilizada con respecto al total en cada suceso muestreado para los parámetros básicos y los metales se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 7-5. Porcentaje de la masa de parámetros básicos y metales movilizada en los sucesos que se asocia a la escorrentía.

% Masa escorrentía / Masa total	SUC_061008	SUC_211008	SUC_120109	SUC_150409	SUC_250409	SUC_100509	SUC_230509	SUC_040609	SUC_250609	SUC_240809	VALOR MEDIO
DQO	40.3%	88.1%	79.4%	68.8%	81.9%	68.9%	86.8%	62.6%	89.8%	77.2%	74.4%
DQO soluble	40.4%	78.5%	49.5%	31.4%	26.4%	43.6%	45.8%	25.0%	75.9%	48.6%	46.5%
DBO5	47.9%	88.9%	71.3%	66.9%	80.0%	60.6%	83.4%	59.3%	90.3%	76.8%	72.5%
COT	60.7%	58.3%	56.4%	23.3%	48.4%	23.8%	80.4%	70.0%	84.8%	53.7%	56.0%
COD	46.9%	54.3%	54.1%	37.5%	19.9%	22.4%	54.8%	23.0%	78.9%	24.0%	41.6%
N total	57.1%	70.9%	59.2%	47.0%	64.2%	51.5%	68.0%	33.6%	69.3%	63.5%	58.4%
N-NH ₄ ⁺	51.6%	36.2%	21.7%	32.8%	39.3%	30.5%	36.1%	1.1%	34.4%	24.9%	30.9%
P total	53.3%	75.0%	70.0%	63.6%	74.1%	44.4%	80.5%	56.1%	75.9%	72.4%	66.5%
P-PO ₄ ³⁻	54.4%	68.4%	45.5%	38.5%	57.0%	36.7%	73.9%	23.5%	72.2%	35.4%	50.5%
SS	35.3%	92.3%	87.0%	74.5%	87.7%	68.9%	88.5%	75.4%	93.4%	89.3%	79.2%
SSV	42.4%	91.0%	84.1%	76.8%	87.2%	71.6%	87.9%	69.7%	92.6%	88.9%	79.2%
SD	50.8%	70.3%	28.9%	33.8%	49.0%	50.0%	74.4%	52.0%	72.7%	43.6%	52.5%
SDV	17.5%	82.1%	21.9%	17.8%	15.2%	35.8%	80.3%	59.6%	87.1%	62.0%	47.9%
ST	42.3%	85.5%	74.4%	68.7%	79.4%	57.6%	82.8%	65.1%	87.8%	79.7%	72.3%
STV	42.9%	89.2%	77.0%	74.7%	83.0%	61.7%	85.8%	66.2%	91.2%	83.8%	75.5%
Alcalinidad	46.8%	33.0%	31.2%	35.3%	47.2%	37.9%	52.0%	16.1%	42.3%	35.8%	37.7%
Dureza	58.2%	86.7%	78.1%	57.1%	64.2%	35.7%	77.8%	--	72.0%	72.9%	67.0%
Al	55.5%	94.2%	91.5%	65.0%	85.9%	74.5%	89.3%	--	85.4%	85.9%	80.8%
Ba	63.6%	89.4%	83.1%	80.6%	87.5%	82.2%	93.6%	--	88.2%	88.7%	84.1%
Cd	44.9%	50.2%	2.1%	--	--	49.5%	83.0%	--	--	83.1%	52.1%
Cr	57.7%	93.1%	95.3%	81.0%	92.5%	83.1%	94.2%	--	--	91.4%	86.0%
Co	73.1%	93.7%	84.9%	86.2%	91.3%	80.0%	93.8%	--	--	58.6%	82.7%
Cu	66.1%	84.5%	89.8%	69.3%	89.5%	71.0%	95.4%	--	93.5%	63.6%	80.3%
Fe	69.1%	96.3%	90.6%	86.7%	92.4%	77.6%	95.3%	--	93.1%	94.0%	88.3%
Hg	85.2%	89.6%	96.3%	--	--	66.3%	93.3%	--	--	76.1%	84.5%
Mn	54.0%	87.5%	75.3%	62.0%	75.7%	57.2%	85.1%	--	77.7%	76.4%	72.3%
Ni	50.8%	94.2%	91.0%	84.6%	87.9%	83.3%	93.6%	--	89.8%	79.3%	83.8%
Pb	43.9%	92.1%	84.6%	64.7%	80.0%	62.2%	88.6%	--	83.9%	90.3%	76.7%
Zn	62.6%	91.0%	90.3%	72.1%	83.6%	75.3%	92.4%	--	78.8%	86.1%	81.4%
As	50.3%	85.6%	76.9%	68.6%	76.8%	56.6%	83.5%	--	--	83.6%	72.7%
Be	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
B	50.1%	68.4%	39.0%	33.0%	31.9%	51.9%	61.1%	--	--	44.7%	47.5%
Mo	57.6%	90.4%	89.0%	80.7%	81.6%	85.5%	93.6%	--	--	89.2%	83.5%
Se	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Si	33.5%	85.2%	77.3%	45.9%	59.7%	27.9%	69.2%	--	--	71.9%	58.8%
V	67.1%	96.9%	93.9%	86.9%	87.4%	87.1%	95.9%	--	--	93.4%	88.6%

Se graficaron los porcentajes de movilización asignada a escorrentía de los parámetros más representativos de la tabla anterior.

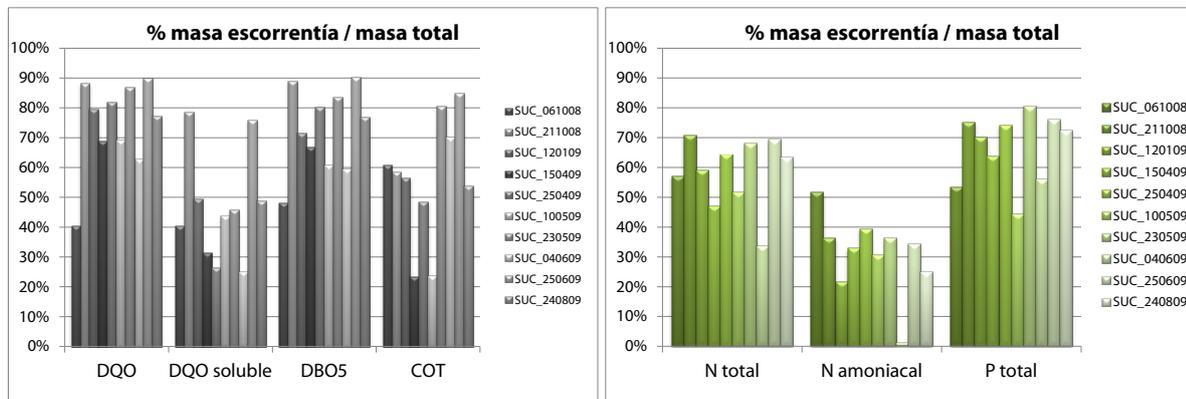


Figura 7-8. Porcentaje de movilización asignada a escorrentía con respecto al total de los consumidores de oxígeno, COT, las formas de nitrógeno y fósforo total.

En la figura anterior puede observarse que la movilización asignada a la escorrentía para la DQO y COT en la mayoría de los sucesos es superior al 75% y al 50% respectivamente. Sin embargo para el caso de la DQO soluble no se suele sobrepasar el 50% aunque, en los más energéticos (SUC_21108 por ejemplo), se llega a casi al 80%. Para la DBO₅ en la mitad de los sucesos se llega o supera el 75% de la masa de escorrentía movilizada con respecto al total.

Para el N total se supera en la mayor parte de los sucesos el 50% llegando en los más energéticos al 70%, este valor se supera en la mayoría de los sucesos para el P total el cual se moviliza en mayor medida que el anterior. Sin embargo para el N amoniacal no se supera, en general, el 40% de movilización asignada a escorrentía con respecto al total y como dato destacable citar que en el suceso SUC_040609 con un tiempo seco precedente muy corto (4 horas) la movilización para este contaminante fue casi nula (1%), es decir, casi pura dilución.

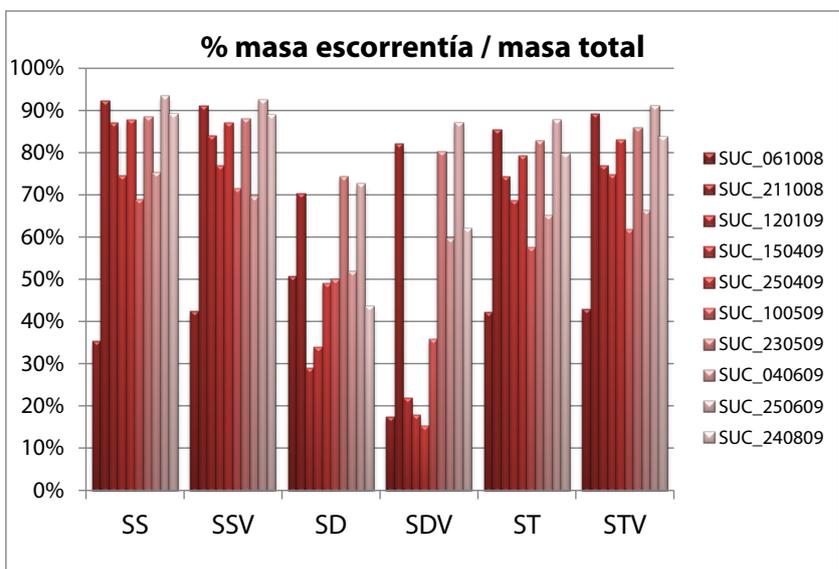


Figura 7-9. Porcentaje de movilización asignada a escorrentía con respecto al total de los sólidos.

Los sólidos en suspensión tanto totales como volátiles (SS, SSV) tienen un comportamiento similar y sufren una importante movilización, superior al 85%, en la mayoría de los sucesos muestreados. La movilización de los sólidos disueltos totales (SD) alcanza o supera el 50% en la mayor parte de los casos, llegando en los sucesos más energéticos a más del 70%. Por otro lado el comportamiento de los sólidos disueltos volátiles (SDV) se polariza, existiendo sucesos con una escasa movilización (< 30%) y otros, los más energéticos, con una gran movilización (> 80%).

En el caso de los sólidos totales y totales volátiles (ST, STV) su movilización es superior al 70% en la mayor parte de los sucesos, llegando en algunos casos al 90% con respecto al total.

El grupo mayoritario de metales formado por Al, Ba, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn, Cr, Co, Mo y V sufren una enorme movilización que en la mayoría de los sucesos es superior al 80%, llegando en algunos casos al 95%. El Mn y As se movilizan ligeramente en menor medida que el grupo anterior, pese a ello, ésta supera comúnmente el 70% llegando en algún suceso al 85%. El B es el metal con menor movilización, en la mayoría de los casos no supera el 50% aunque en algunos supera el 65%.

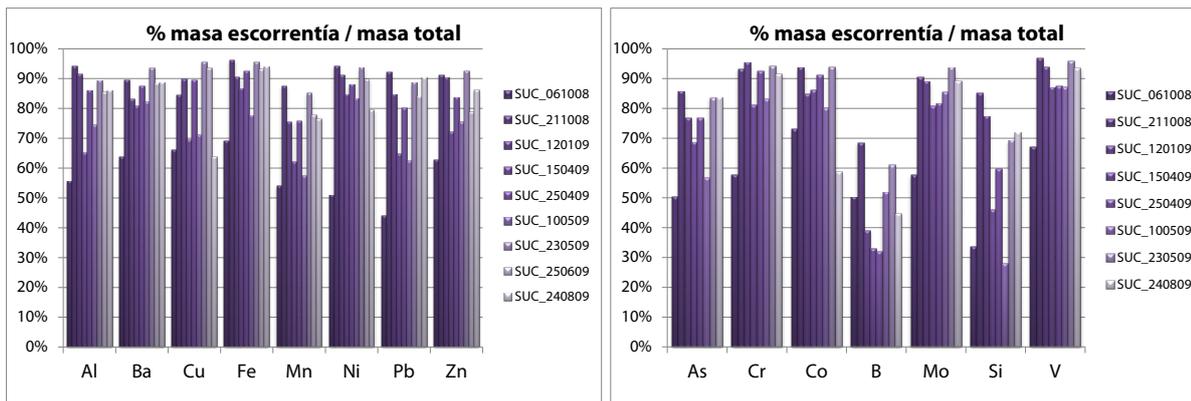


Figura 7-10. Porcentaje de movilización asignada a escorrentía con respecto al total de los metales.

En la figura siguiente se presenta para cada suceso muestreado el porcentaje de movilización de los metales (exceptuando el B y el Si), puede apreciarse el comportamiento generalizado existente basado en una importante movilización en tiempo de lluvia. En algunos sucesos el porcentaje de masa de escorrentía con respecto al total supera el 80% para todos los metales representados y, en gran parte de ellos, el 90% (SUC_211008, SUC_230509).

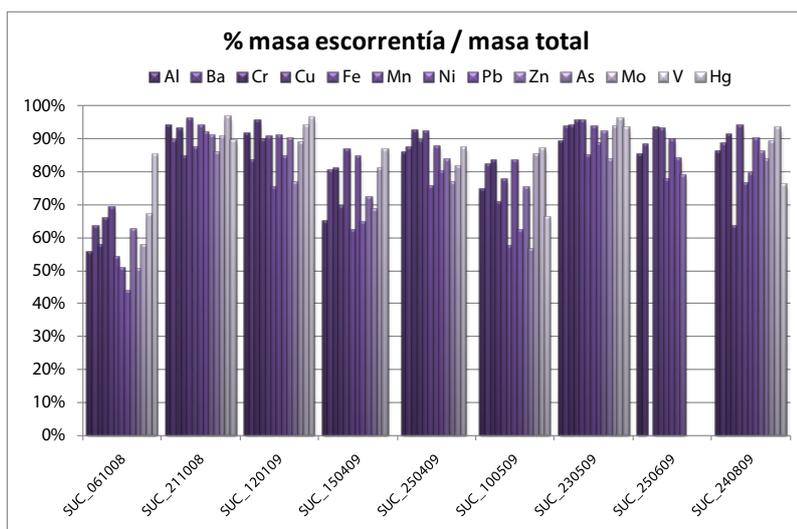


Figura 7-11. Porcentaje de movilización asignada a escorrentía con respecto al total en cada suceso para los metales.

7.1.4. Cargas específicas movilizadas

Las masas movilizadas de los parámetros de contaminación en una cuenca unitaria durante los sucesos de lluvia pueden relacionarse con la superficie de la misma o con el tamaño de su red de saneamiento y drenaje. Se denominan cargas específicas movilizadas **CMOV** por ha o por km·m de red, respectivamente.

7.1.4.1. Cargas específicas movilizadas por ha

La superficie de la cuenca que se considera en el cálculo de las **CMOV por ha** es el **área neta o impermeable** que en el caso de la cuenca de "Ensanche" es de 18.0 ha. Los resultados obtenidos para los parámetros básicos y los metales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7-6. Cargas específicas movilizadas por hectárea de parámetros básicos y metales en todos los sucesos.

CARGA ESPECÍFICA MOVILIZADA (kg/ha)	SUC_061008	SUC_211008	SUC_120109	SUC_150409	SUC_250409	SUC_100509	SUC_230509	SUC_040609	SUC_250609	SUC_240809	VALOR MEDIO
DQO	1.7	20.6	16.8	10.5	13.1	7.6	23.4	4.2	16.6	19.7	13.4
DQO sol	0.43	2.62	1.69	0.73	0.39	1.25	1.34	0.29	1.53	2.16	1.2
DBO ₅	1.2	10.1	7.5	4.9	7.4	3.5	11.0	2.0	9.4	10.9	6.8
COT	0.35	0.46	0.36	0.18	0.46	0.15	2.35	0.62	2.54	1.33	0.88
COD	0.15	0.32	0.29	0.21	0.07	0.10	0.35	0.05	0.80	0.13	0.25
N total	0.29	0.87	0.55	0.37	0.40	0.32	0.65	0.09	0.63	0.62	0.48
N- NH ₄ ⁺	0.17	0.15	0.08	0.14	0.10	0.11	0.12	0.00	0.11	0.08	0.11
P total	0.04	0.16	0.12	0.08	0.10	0.04	0.18	0.03	0.11	0.13	0.10
P-PO ₄ ³⁻	0.02	0.07	0.03	0.02	0.03	0.02	0.08	0.00	0.06	0.02	0.04
SS	0.6	14.5	10.1	5.6	7.4	3.3	11.1	2.6	10.4	15.7	8.1
SSV	0.6	11.1	7.4	4.8	6.0	2.7	9.0	1.6	8.1	12.6	6.4
SD	1.12	2.96	1.04	1.06	1.39	1.93	5.64	1.27	2.84	2.24	2.1
SDV	0.08	1.89	0.24	0.17	0.11	0.48	2.88	0.65	2.41	1.74	1.1
ST	1.9	17.6	11.8	8.8	9.6	4.6	16.3	3.8	13.4	19.1	10.7
STV	1.0	13.1	7.5	6.6	7.2	3.1	11.8	2.3	10.5	14.5	7.8
Alcalinidad	0.87	0.84	0.82	0.79	0.83	0.79	1.41	0.14	0.74	0.82	0.80
Dureza	0.31	2.73	1.66	0.62	0.73	0.24	1.37	0.13	0.60	1.29	1.0

CARGA ESPECÍFICA MOVILIZADA (mg/ha)	SUC_061008	SUC_211008	SUC_120109	SUC_150409	SUC_250409	SUC_100509	SUC_230509	SUC_040609	SUC_250609	SUC_240809	VALOR MEDIO
Al (g/ha)	5.4	120.4	97.1	43.8	53.2	25.6	100.8	--	37.3	142.1	70
Ba	425	3373	1970	1991	2744	1611	4596	--	2100	4307	2569
Cd	0.7	1.5	0.0	--	--	1.4	6.3	--	--	7.8	3
Cr	11.6	199.7	275.4	180.7	207.7	110.4	326.6	--	--	345.3	207
Co	5.2	63.8	177.1	43.4	37.9	22.4	76.9	--	--	15.2	55
Cu	1599	6754	9251	3939	5342	2105	16309	--	14308	3528	7015
Fe (g/ha)	3.9	111.1	78.6	52.1	43.1	17.3	92.3	--	35.2	149.8	65
Hg	1.6	17.1	15.6	--	--	6.8	43.9	--	--	40.0	21
Mn	294.2	2815.5	1882.0	983.0	1247.1	659.3	2538.8	--	1238.8	2038.9	1522
Ni	15.6	371.7	272.9	172.2	183.0	120.9	322.9	--	137.6	130.4	192
Pb	163.0	3793.7	1977.9	996.0	1323.3	593.3	2536.7	--	1205.7	5246.0	1982
Zn	628.1	9225.7	7365.3	2831.5	3846.3	2467.1	8888.4	--	2360.7	8236.1	5094
As	10.9	99.3	69.2	54.2	43.5	28.6	100.4	--	--	103.5	64
Be	0.0	0.0	0.0	--	--	--	--	--	--	--	--
B	296.0	802.1	379.8	291.8	243.3	606.8	799.6	--	--	598.1	502
Mo	3.5	48.9	42.4	23.5	24.8	28.8	65.4	--	--	46.2	35
Se	0.0	0.0	0.0	--	--	--	--	--	--	--	--
Si (g/ha)	0.4	242.3	186.8	61.3	70.6	21.8	114.9	--	--	183.4	110
V	0.2	229.5	169.0	106.1	95.5	74.6	237.6	--	--	200.5	139

Los valores máximos de cargas específicas movilizadas por ha de parámetros básicos y metales se reparten mayoritariamente entre 3 sucesos, el segundo, el séptimo y el décimo (SUC_211008, SUC_230509 y SUC_240809).

A continuación se representan las CMOV por ha de los parámetros más representativos de la tabla anterior.

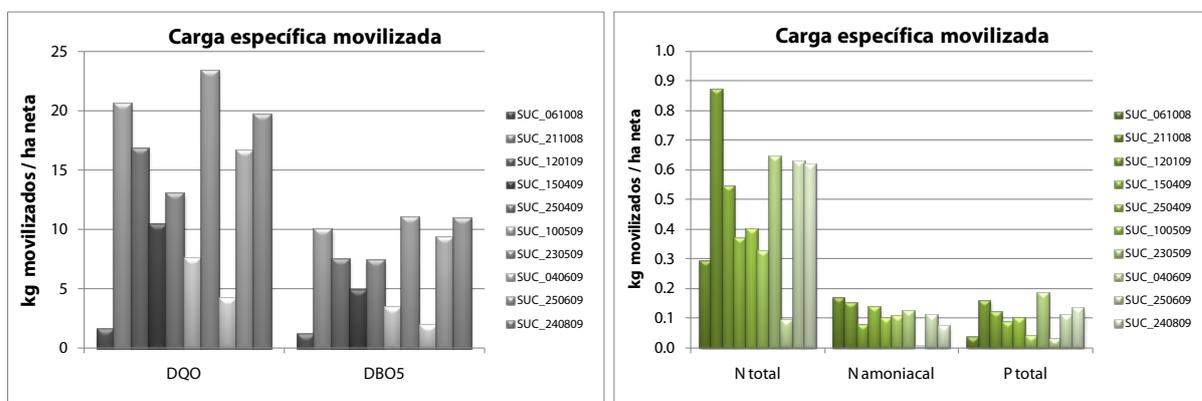


Figura 7-12. Cargas específicas movilizadas por ha de consumidores de oxígeno (DQO, DBO₅), formas de nitrógeno y P total.

Las cargas específicas máximas que se movilizan en la cuenca para la DQO y DBO₅ son de 22 kg y 10 kg por hectárea respectivamente, para el N total este valor máximo alcanza los 0.8 kg/ha, mientras para el N amoniacal y el P total los máximos son de 0.15 y 0.17 kg/ha respectivamente.

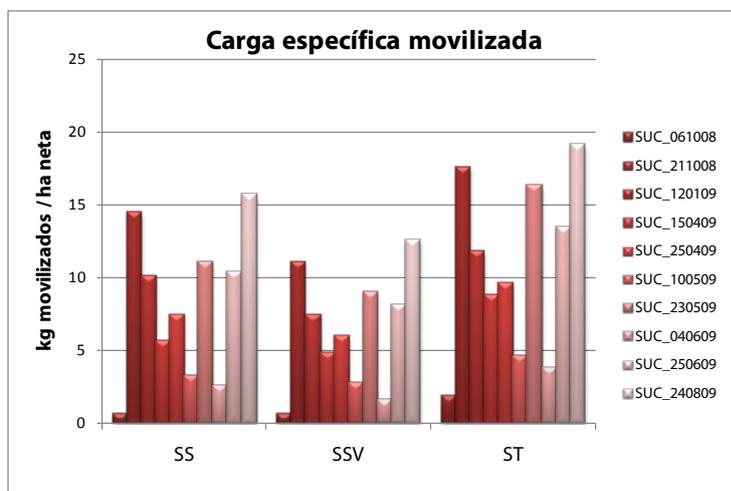


Figura 7-13. Cargas específicas movilizadas por ha de SS, SSV y ST.

Las cargas específicas máximas para los sólidos totales, sólidos en suspensión y en suspensión volátiles llegan aproximadamente a los 18, 15 y 12 kg por hectárea respectivamente.

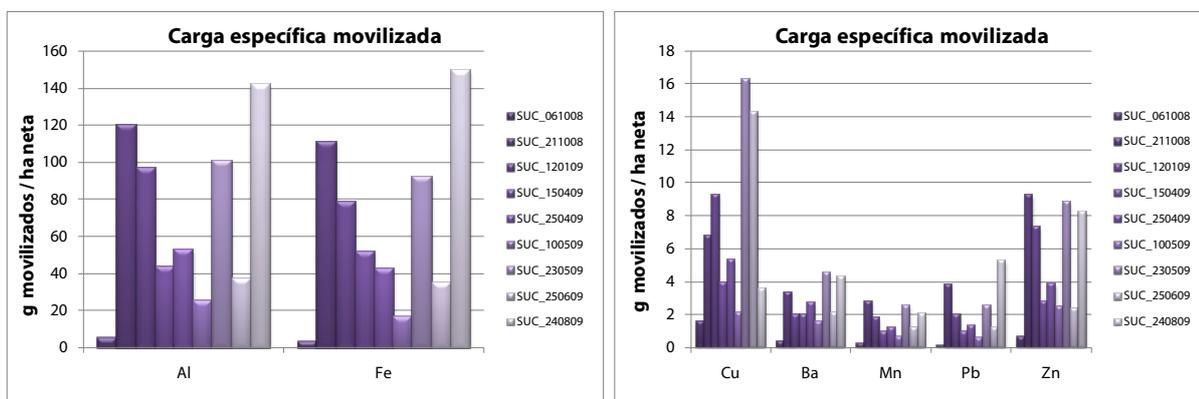


Figura 7-14. Cargas específicas movilizadas de metales (Al, Fe, Cu, Ba, Mn, Pb y Zn).

Las cargas específicas máximas movilizadas de hierro y aluminio son similares y se sitúan en torno a los 140 y 130 g/ha respectivamente. En el caso del cobre, bario, manganeso, plomo y zinc los valores máximos alcanzan, respectivamente, los 15, 4.3, 2.6, 4.9 y 8.6 gramos movilizadas por hectárea.

7.1.4.2. Cargas específicas movilizadas por km·m de red

El tamaño de la red de saneamiento y drenaje de la cuenca "Ensanche" es de unos 3.2 km·m, éste es el resultado de multiplicar la longitud de sus conductos (en km) por el diámetro de los mismos (en m).

Las CMOV por km·m de red obtenidas para los parámetros básicos y los metales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7-7. Cargas específicas movilizadas por km-m de red de parámetros básicos y metales en todos los sucesos.

CARGA ESPECÍFICA MOVILIZADA (kg/km-m)	SUC_061008	SUC_211008	SUC_120109	SUC_150409	SUC_250409	SUC_100509	SUC_230509	SUC_040609	SUC_250609	SUC_240809	VALOR MEDIO
DQO	9.4	115.3	94.4	58.7	73.2	42.8	130.9	23.5	93.2	110.4	75.2
DQO sol	2.44	14.66	9.50	4.09	2.21	7.03	7.50	1.62	8.60	12.09	7.0
DBO ₅	6.9	56.5	42.0	27.5	41.5	19.6	61.9	11.4	52.6	61.3	38.1
COT	1.96	2.55	2.03	1.02	2.58	0.81	13.19	3.47	14.21	7.48	4.9
COD	0.85	1.80	1.65	1.17	0.41	0.58	1.96	0.29	4.48	0.74	1.4
N total	1.63	4.89	3.06	2.07	2.25	1.82	3.63	0.53	3.52	3.47	2.7
N- NH ₄ ⁺	0.93	0.85	0.44	0.78	0.55	0.59	0.70	0.01	0.62	0.42	0.59
P total	0.20	0.89	0.67	0.48	0.56	0.23	1.03	0.18	0.62	0.76	0.56
P-PO ₄ ³⁻	0.13	0.37	0.16	0.12	0.16	0.11	0.45	0.03	0.34	0.13	0.20
SS	3.6	81.5	56.6	31.4	41.5	18.4	62.2	14.5	58.4	88.1	45.6
SSV	3.5	62.2	41.2	27.0	33.4	15.4	50.4	9.1	45.5	70.6	35.8
SD	6.29	16.57	5.83	5.96	7.77	10.80	31.60	7.11	15.95	12.55	12.0
SDV	0.46	10.61	1.36	0.93	0.59	2.68	16.14	3.66	13.49	9.77	6.0
ST	10.4	98.6	66.2	49.3	53.6	25.9	91.5	21.2	75.3	107.3	59.9
STV	5.8	73.6	42.3	36.8	40.2	17.6	66.1	12.7	58.9	81.5	43.5
Alcalinidad	4.89	4.69	4.58	4.41	4.65	4.44	7.93	0.76	4.16	4.60	4.5
Dureza	1.71	15.31	9.32	3.49	4.11	1.34	7.68	0.73	3.36	7.25	5.4
CARGA ESPECÍFICA MOVILIZADA (g/km-m)	SUC_061008	SUC_211008	SUC_120109	SUC_150409	SUC_250409	SUC_100509	SUC_230509	SUC_040609	SUC_250609	SUC_240809	VALOR MEDIO
Al	30.1	675.0	544.2	245.4	298.4	143.6	565.3	--	209.3	796.5	390
Ba	2.4	18.9	11.0	11.2	15.4	9.0	25.8	--	11.8	24.1	14
Cd (mg/km-m)	4.0	8.4	0.2	--	--	7.8	35.3	--	--	43.7	17
Cr	0.1	1.1	1.5	1.0	1.2	0.6	1.8	--	--	1.9	1.2
Co (mg/km-m)	29.1	357.8	992.9	243.5	212.6	125.7	431.1	--	--	85.4	310
Cu	9.0	37.9	51.9	22.1	29.9	11.8	91.4	--	80.2	19.8	39
Fe	21.7	622.7	440.5	292.2	241.5	97.0	517.5	--	197.2	839.9	363
Hg (mg/km-m)	9.2	95.9	87.6	--	--	38.4	246.1	--	--	224.2	117
Mn	1.6	15.8	10.5	5.5	7.0	3.7	14.2	--	6.9	11.4	9
Ni	0.1	2.1	1.5	1.0	1.0	0.7	1.8	--	0.8	0.7	1.1
Pb	0.9	21.3	11.1	5.6	7.4	3.3	14.2	--	6.8	29.4	11
Zn	3.5	51.7	41.3	15.9	21.6	13.8	49.8	--	13.2	46.2	29
As	0.1	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.6	--	--	0.6	0.4
Be	0.0	0.0	0.0	--	--	--	--	--	--	--	--
B	1.7	4.5	2.1	1.6	1.4	3.4	4.5	--	--	3.4	3
Mo (mg/km-m)	19.7	274.3	237.9	132.0	138.8	161.5	366.7	--	--	258.7	199
Se	0.0	0.0	0.0	--	--	--	--	--	--	--	--
Si	2.5	1358.4	1047.4	343.9	395.7	122.3	643.9	--	--	1027.8	618
V (mg/km-m)	1.2	1286.3	947.6	594.5	535.3	417.9	1331.9	--	--	1124.1	780

Las cargas específicas máximas por km-m de red que se movilizan en la cuenca para la DQO y DBO₅ son de 130 kg y 62 kg respectivamente, para el N total este valor máximo se sitúa próximo a los 5 kg/km-m de red, mientras para el N amoniacal y el P total los máximos son próximos a 1 kg/km-m respectivamente.

Las cargas específicas máximas para los sólidos totales, sólidos en suspensión y en suspensión volátiles llegan aproximadamente a los 110, 90 y 70 kg por km-m de red respectivamente.

Las cargas específicas máximas movilizadas de hierro y aluminio son similares y se sitúan en torno a los 800 g/km-m de red respectivamente. En el caso del cobre, bario, manganeso, plomo y zinc los valores máximos alcanzan, respectivamente, los 90, 25, 16, 30 y 50 gramos movilizadas por km-m de red.

Los valores medios de carga movilizada de DBO₅ son, aproximadamente, la mitad de los obtenidos para la DQO; mientras que, de las cargas medias movilizadas de SS, casi el 80% son sólidos en suspensión volátiles.

7.1.5. Flujos máxicos máxicos asignados a escorrentía

Los flujos máxicos máxicos asignados a escorrentía de parámetros básicos y metales en todos los sucesos se presentan en la tabla siguiente, en la que puede apreciarse que en el SUC_211008 se dan la gran mayoría de los valores máxicos debido a que se trata del suceso más pluviométrico y energético de los diez recogidos.

Tabla 7-8. Flujos máxicos máxicos asignados a escorrentía de parámetros básicos y metales.

FLUJOS MÁXICOS MÁXICOS ASIGNADOS A ESCORRENTÍA (g/s)	SUC_061008	SUC_211008	SUC_120109	SUC_150409	SUC_250409	SUC_100509	SUC_230509	SUC_040609	SUC_250609	SUC_240809
DQO	52.15	766.63	137.99	121.08	194.40	73.46	372.71	113.29	392.84	291.36
DQO sol	9.16	100.84	19.68	10.37	16.11	12.31	35.70	13.16	40.06	30.84
DBO5	36.69	385.20	90.35	57.59	135.15	34.41	136.35	60.29	213.50	183.47
COT	7.05	12.68	4.51	4.27	13.02	4.32	54.88	12.70	59.59	31.75
COD	2.96	10.43	3.54	2.67	4.00	1.40	7.20	1.88	26.09	2.77
N total	5.34	24.01	4.53	4.15	6.79	3.21	10.41	2.76	15.68	7.23
N- NH ₄ ⁺	3.05	6.75	1.25	1.71	2.00	1.04	3.16	1.32	3.64	1.57
P total	0.71	5.48	0.96	0.98	1.87	0.48	2.68	0.60	2.69	2.11
P-PO ₄ ³⁻	0.46	2.49	0.28	0.32	0.67	0.28	1.34	0.28	1.50	0.40
SS	26.41	509.41	88.97	62.63	165.59	34.39	205.03	64.37	238.95	291.13
SSV	23.43	433.65	63.52	54.98	141.75	29.39	170.49	45.72	190.04	241.25
SD	20.70	68.31	12.97	13.14	22.85	15.63	46.63	32.85	83.06	26.77
SDV	2.96	33.19	3.85	4.00	5.74	6.50	22.89	21.91	70.55	17.13
ST	52.98	571.47	100.57	99.11	188.44	44.71	245.07	95.36	328.58	303.80
STV	33.15	449.51	71.15	76.22	148.77	30.38	192.57	67.06	261.79	250.02
Alcalinidad	16.93	27.88	7.81	8.88	15.51	8.42	19.90	7.07	19.94	13.79
Dureza	5.18	66.64	13.01	7.36	14.60	2.75	17.29	--	17.14	16.80
FLUJOS MÁXICOS MÁXICOS ASIGNADOS A ESCORRENTÍA (mg/s)	SUC_061008	SUC_211008	SUC_120109	SUC_150409	SUC_250409	SUC_100509	SUC_230509	SUC_040609	SUC_250609	SUC_240809
Al	216.7	3800.0	826.9	449.5	807.0	239.0	1067.5	--	1266.9	1756.6
Ba	18.9	81.8	16.7	20.9	43.7	9.9	41.2	--	46.0	55.1
Cd	0.02	0.09	0.02	--	--	0.02	0.08	--	--	0.14
Cr	0.6	8.1	2.5	1.7	4.2	0.6	3.3	--	--	3.8
Co	0.1	2.0	1.7	0.4	0.5	0.1	0.8	--	--	0.2
Cu	103.5	246.7	78.4	44.5	69.8	28.3	297.8	--	286.7	61.1
Fe	104.6	3444.2	675.8	483.8	622.7	120.9	713.6	--	849.1	1420.0
Hg	0.03	0.79	0.13	--	--	0.10	0.52	--	--	0.82
Mn	7.1	69.2	15.4	11.2	19.9	5.4	25.3	--	33.4	23.6
Ni	0.4	11.3	2.3	1.8	3.9	0.8	2.7	--	3.4	1.3
Pb	8.3	114.3	19.8	11.6	27.3	5.2	32.9	--	37.1	103.4
Zn	17.8	246.0	58.8	32.1	61.5	16.1	88.2	--	69.4	103.0
As	0.26	2.28	0.60	0.47	0.59	0.21	0.77	--	--	0.98
Be	0.00	0.00	0.00	--	--	--	--	--	--	--
B	6.38	11.56	3.30	4.32	5.58	4.56	7.04	--	--	7.83
Mo	0.09	1.07	0.31	0.25	0.36	0.18	0.57	--	--	0.40
Se	0.00	0.00	0.00	--	--	--	--	--	--	--
Si (g/s)	0.42	6.72	1.44	0.78	1.31	0.35	1.18	--	--	2.09
V	0.20	5.58	1.34	1.02	1.12	0.48	1.52	--	--	1.69

7.2. ANÁLISIS DE LA MOVILIZACIÓN EN TIEMPO DE LLUVIA DE LOS PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN SELECCIONADOS

Para dar una idea de si existe primer lavado en la cuenca estudiada se muestra en la siguiente tabla los valores del coeficiente "a" obtenidos para todos los parámetros de contaminación medidos en los diez sucesos caracterizados. Existe un adelanto de la movilización de masas con respecto al volumen del suceso si el valor del coeficiente "a" es menor que la unidad, cuanto menor sea este coeficiente más marcado es el primer lavado.

Tabla 7-9. Coeficientes de forma "a" del análisis de movilización de masas de los contaminantes.

COEFICIENTES DE FORMA "a"	SUC_061008	SUC_211008	SUC_120109	SUC_150409	SUC_250409	SUC_100509	SUC_230509	SUC_040609	SUC_250609	SUC_240809
DQO	2.25	0.52	0.79	0.96	0.88	0.88	0.58	1.28	1.17	0.60
DQO soluble	2.28	0.76	0.73	0.85	1.06	1.02	0.59	1.78	1.21	0.73
DBO5	2.31	0.46	0.74	0.97	0.82	0.92	0.58	1.27	1.15	0.60
COT	2.34	0.88	0.80	0.80	0.91	0.83	0.50	1.47	1.07	0.54
COD	2.48	1.02	0.77	0.86	1.12	1.02	0.65	1.59	0.78	0.78
N total	2.33	1.05	0.84	0.88	1.19	0.96	0.69	1.83	1.33	0.74
N-NH ₄ ⁺	2.31	1.26	0.77	0.85	1.58	1.04	0.71	1.89	1.96	0.73
P total	2.32	0.79	0.83	0.95	0.93	0.92	0.66	1.85	1.31	0.67
P-PO ₄ ³⁻	2.31	1.00	0.85	0.91	1.05	0.91	0.60	1.42	1.33	0.72
SS	2.07	0.43	0.81	0.94	0.66	0.89	0.52	1.26	0.99	0.58
SSV	2.09	0.42	0.79	0.98	0.62	0.88	0.52	1.25	0.95	0.56
SD	2.26	1.17	0.83	0.87	1.21	1.00	0.90	1.51	1.30	0.83
SDV	2.26	1.25	0.92	0.90	1.03	0.97	0.89	1.02	1.09	0.82
ST	2.16	0.64	0.82	0.96	0.83	0.93	0.66	1.34	1.08	0.64
STV	2.14	0.58	0.76	1.00	0.75	0.91	0.61	1.15	0.99	0.60
Al	1.87	0.57	0.86	0.86	0.86	0.92	0.71	--	0.92	0.71
Ba	1.16	0.95	0.85	1.03	1.03	1.00	0.82	--	1.48	0.69
Cd	2.06	0.15	0.60	--	--	0.88	0.67	--	--	0.65
Cr	1.40	0.27	0.88	1.08	0.80	1.08	0.76	--	--	0.73
Co	1.35	0.58	0.77	0.92	1.00	0.99	0.76	--	--	0.74
Cu	0.82	0.64	0.87	0.92	1.05	0.99	0.69	--	1.20	0.68
Fe	1.71	0.59	0.93	0.91	0.89	0.99	0.88	--	1.36	0.79
Hg	1.65	0.39	0.79	--	--	1.00	0.62	--	--	0.56
Mn	1.58	0.67	0.85	0.93	1.02	0.96	0.80	--	1.27	0.73
Ni	2.23	0.68	0.91	1.01	0.87	1.05	0.83	--	1.65	0.78
Pb	1.98	0.46	0.75	0.92	0.73	0.96	0.68	--	1.21	0.58
Zn	2.03	0.75	0.86	0.99	0.91	1.05	0.75	--	1.30	0.71
As	1.80	0.93	0.91	0.82	1.14	1.13	0.91	--	--	0.81
Be	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
B	2.10	1.15	0.87	0.87	1.31	1.13	0.90	--	--	0.73
Mo	2.26	0.90	0.85	1.01	1.04	1.12	0.81	--	--	0.81
Se	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Si	2.23	0.78	0.91	0.91	0.98	0.95	0.80	--	--	0.78
V	1.75	0.88	0.97	0.94	1.10	1.13	0.94	--	--	0.88
Na ⁺	2.24	1.31	0.76	0.85	1.37	1.00	0.82	1.93	2.12	0.78
K ⁺	2.33	1.18	0.82	0.86	1.32	0.97	0.81	1.95	1.94	0.79
Ca ²⁺	2.42	0.72	0.85	0.96	0.90	0.91	0.69	2.34	1.46	0.69
Mg ²⁺	2.28	0.80	0.85	0.93	0.98	0.93	0.78	1.75	1.52	0.77
Fluoruros	2.12	1.31	1.08	--	--	--	--	--	--	--
Cloruros	2.36	1.31	0.76	--	--	--	--	--	--	--
Cianuros	2.35	1.34	0.13	--	--	--	--	--	--	--
HAPs totales	2.65	2.75	0.82	0.61	2.03	1.01	--	--	--	--
Benzo(a)pireno	1.29	2.55	0.73	0.83	5.68	0.88	--	--	--	--
Fluoranteno	3.75	2.48	0.97	0.00	2.55	1.37	--	--	--	--
Naftaleno	1.69	1.20	0.61	0.48	13.56	0.34	--	--	--	--
HC totales	2.38	1.32	0.72	--	--	--	--	--	--	--
COVs totales	2.19	1.40	0.93	--	--	--	--	--	--	--
BTEX	2.11	1.50	0.82	--	--	--	--	--	--	--
Cloroformo	2.21	1.37	0.98	--	--	--	--	--	--	--
Plaguicidas	0.68	0.73	1.36	--	--	--	--	--	--	--
Fenoles	3.12	0.95	--	--	--	--	--	--	--	--
Aceites y grasas	2.31	0.33	0.64	0.67	0.85	0.85	--	1.03	1.04	0.67
HHCB Galaxolide	3.87	1.19	0.91	0.77	0.80	1.03	0.55	1.07	2.30	0.65
AHTN Tonalide	1.12	1.52	0.89	0.70	0.50	0.91	0.24	1.13	2.63	0.60
17-b-estradiol	1.10	1.94	0.00	--	--	--	--	--	--	--
Paracetamol	--	--	--	--	0.97	0.71	0.47	1.07	3.21	0.51
Ibuprofeno	2.08	1.18	0.48	0.46	0.89	1.34	2.14	4.21	0.56	0.56
Diclofenaco	2.18	1.32	1.01	0.77	1.26	1.43	1.73	0.00	1.81	0.70
Carbamazepina	3.37	1.15	1.29	--	1.04	1.39	3.94	3.37	2.27	0.84
Cafeina	0.58	1.29	0.58	0.52	1.95	1.11	1.09	1.85	3.48	0.97

Observando los resultados obtenidos se puede concluir que los parámetros de contaminación con un primer lavado más marcado son los consumidores de oxígeno (DQO y DBO₅), el COT, los SS, SSV, ST y STV. Por parte de los metales, el aluminio, cobre, hierro, plomo y los cationes calcio y magnesio (dureza).

Los sucesos con un primer lavado más acusado han sido el segundo, séptimo y décimo (SUC_211008, SUC_230509 y SUC_240809); los dos primeros eventos comentados se caracterizan por una rampa ascendente inicial del hidrograma elevada (intensidad diezminutal máxima de 12.6 y 4.8 mm/h respectivamente) tras un período de tiempo seco precedente menor de una semana (5 y 6 días respectivamente). Sin embargo, el décimo suceso presenta un ligero menor primer lavado con respecto a estos dos anteriores debido

a que el tiempo seco precedente fue de más de 3 semanas, esto provocó una carga de sedimentos depositados en la red de saneamiento y drenaje muy elevada, por lo que su lavado se prolongó durante toda la duración del muestreo del evento. Por otro lado, cabe destacar que estos sucesos han sido los que presentan los valores más altos de cargas específicas movilizadas.

Los sucesos con coeficientes de forma "a" mayores de la unidad para la gran parte de los parámetros de contaminación analizados han sido los SUC_06108 y SUC_040609, la casuística es distinta para cada caso, si el primero se caracteriza por ser un evento muy poco energético con una pluviometría muy débil, el SUC_040609 tuvo lugar tan sólo 4 horas después de otro suceso muy energético por lo que la contaminación acumulada en cuenca y, sobre todo, en el sistema de saneamiento y drenaje era escasa.

Si exceptuamos los dos sucesos citados en el párrafo anterior, en el que se explican sus particularidades, en el resto de los sucesos los coeficientes de forma "a" para los consumidores de oxígeno, los sólidos en suspensión y totales y los metales son, en la gran mayoría de los casos, menores de la unidad.

Se presentan las curvas de movilización de masa de todos los sucesos para los contaminantes convencionales y metales más representativos.

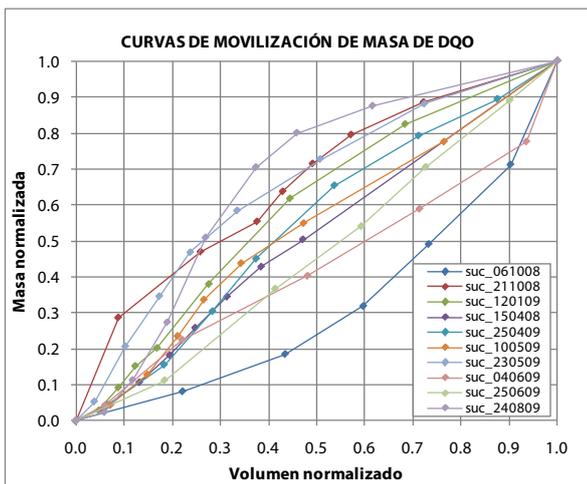


Figura 7-15. Curvas de movilización de masa de DQO.

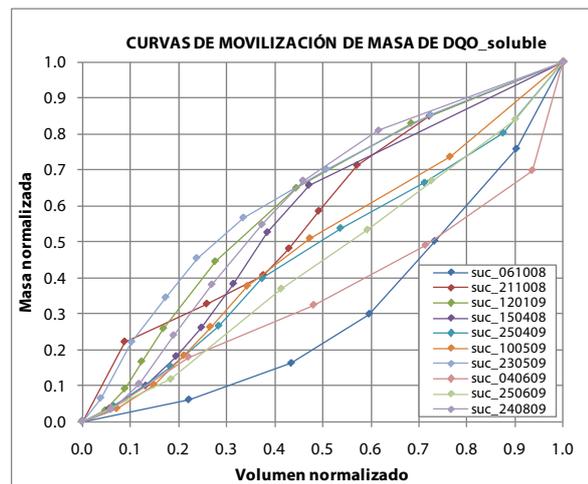


Figura 7-16. Curvas de movilización de masa de DQO soluble.

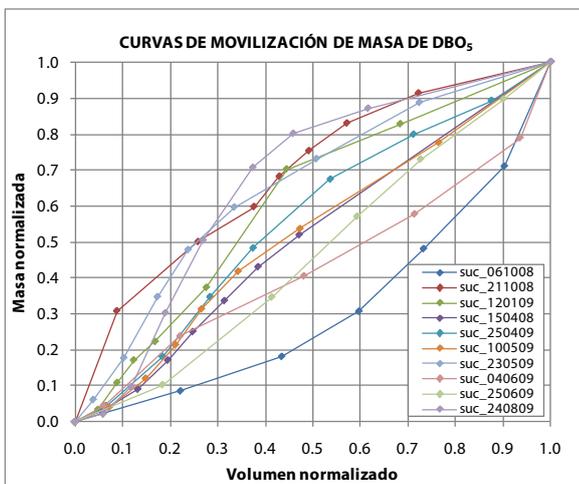


Figura 7-17. Curvas de movilización de masa de DBO₅.

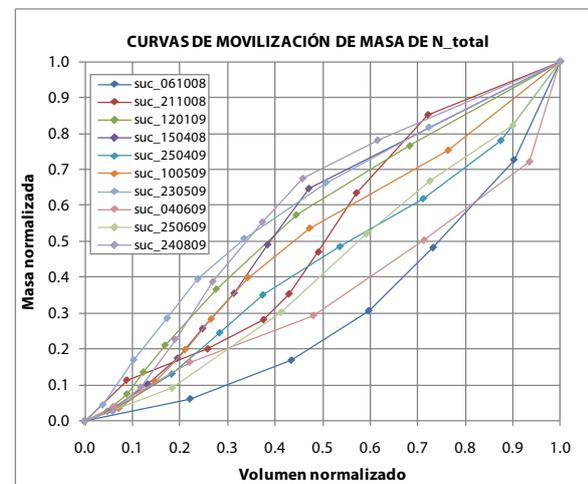


Figura 7-18. Curvas de movilización de masa de N total.

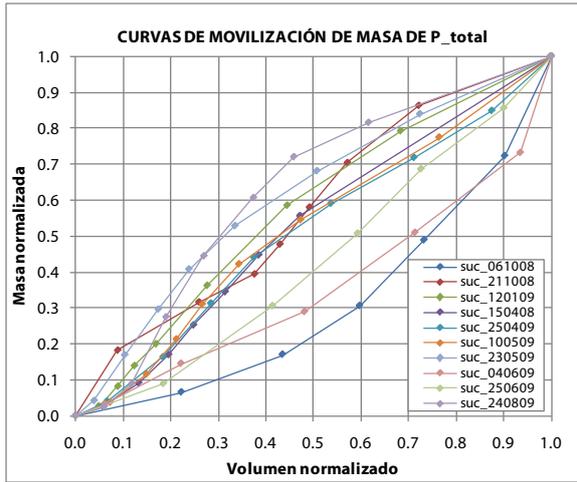


Figura 7-19. Curvas de movilización de masa de P total.

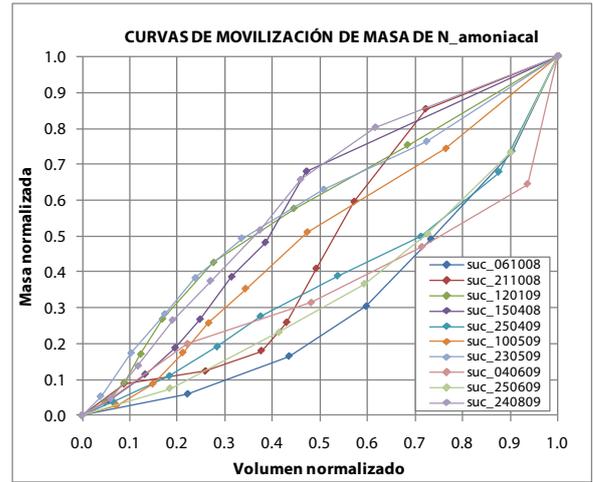


Figura 7-20. Curvas de movilización de masa de N amoniacal.

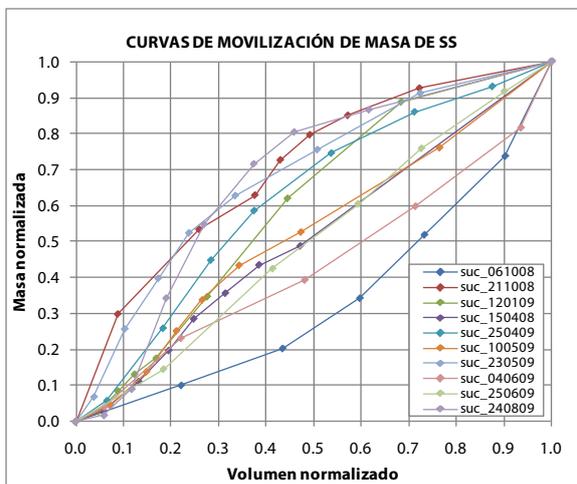


Figura 7-21. Curvas de movilización de masa de SS.

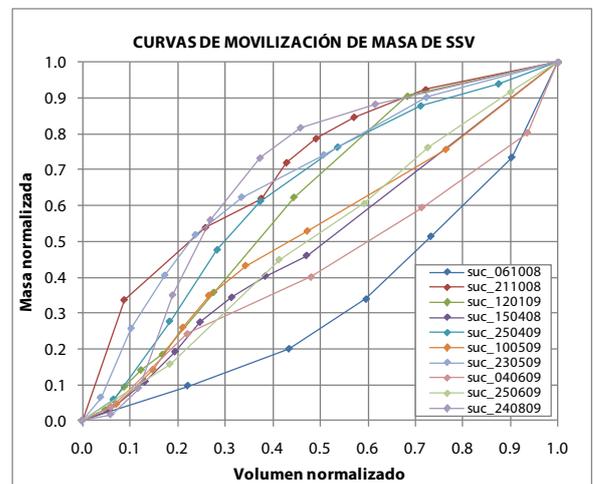


Figura 7-22. Curvas de movilización de masa de SSV.

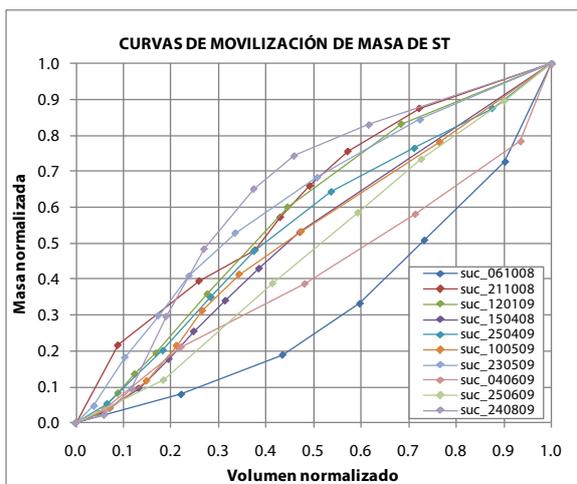


Figura 7-23. Curvas de movilización de masa de ST.

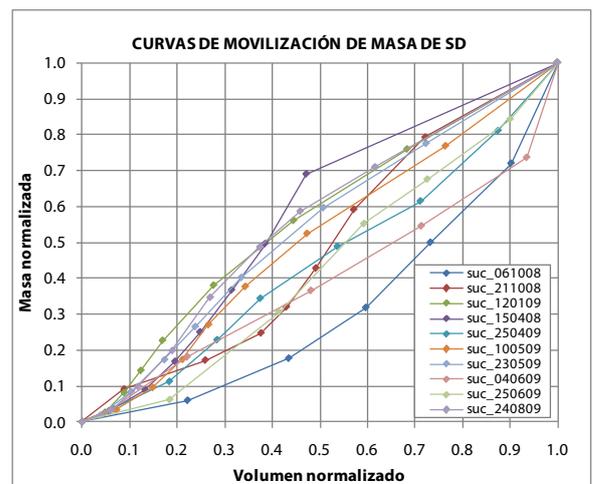


Figura 7-24. Curvas de movilización de masa de SD.

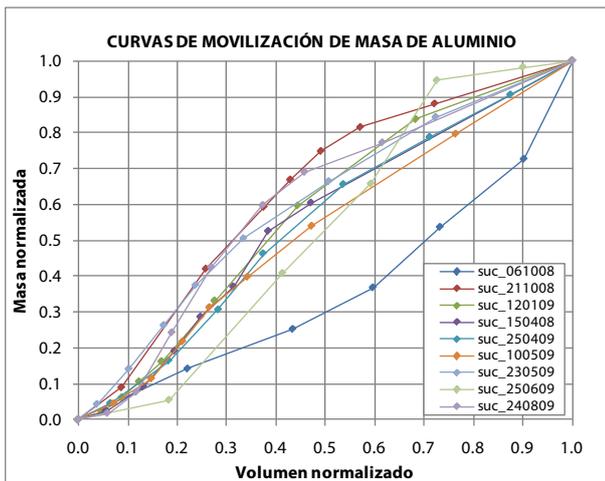


Figura 7-25. Curvas de movilización de masa de Al.

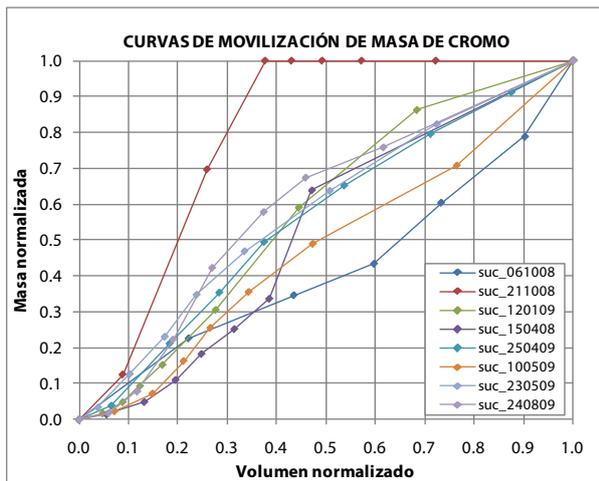


Figura 7-26. Curvas de movilización de masa de Cr.

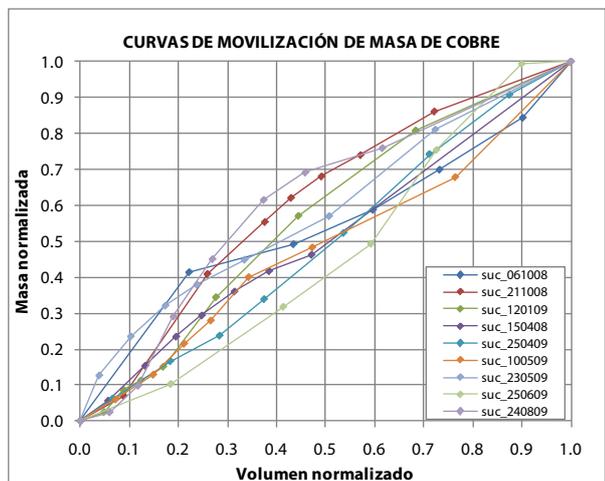


Figura 7-27. Curvas de movilización de masa de Cu.

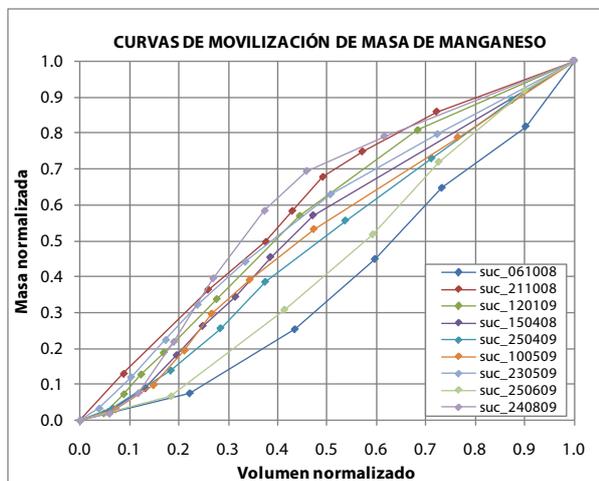


Figura 7-28. Curvas de movilización de masa de Mn.

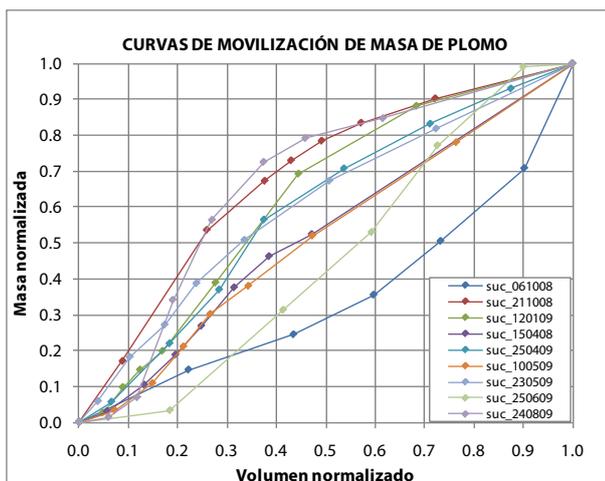


Figura 7-29. Curvas de movilización de masa de Pb.

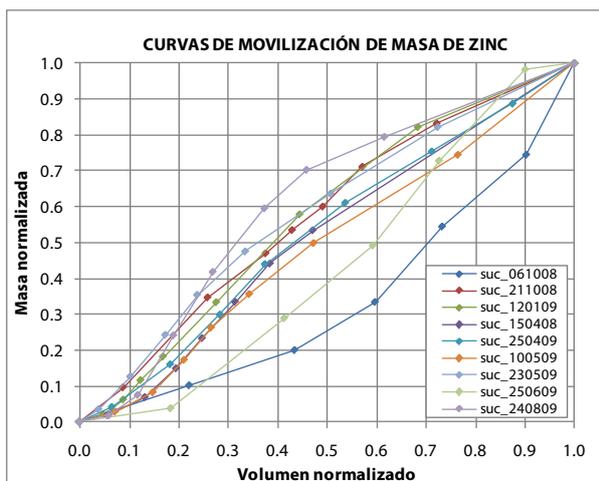


Figura 7-30. Curvas de movilización de masa de Zn.

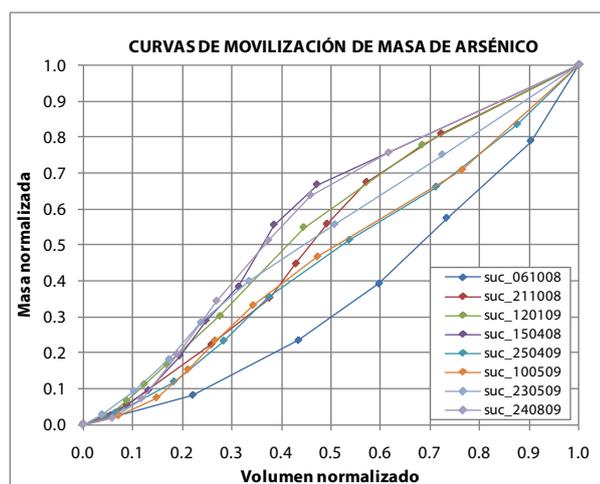


Figura 7-31. Curvas de movilización de masa de As.

En los sucesos de lluvia SUC_061008 (SUC_1) y SUC_120109 (SUC_2) existe una pérdida de información al inicio del hidrograma. Dichos sucesos se caracterizan por una escasa intensidad pluviométrica al inicio del evento de lluvia, lo cual implicó retardo en el comienzo de la toma de muestra.

7.3. COMPARACIÓN ENTRE EL AGUA RESIDUAL DE TIEMPO SECO Y DE TIEMPO DE LLUVIA EN LA CUENCA

7.3.1. Relaciones entre las concentraciones medias de parámetros básicos

Las proporciones entre contaminantes varían entre el agua residual de tiempo de seco y de tiempo de lluvia en la cuenca estudiada. Se han analizado las proporciones entre las concentraciones medias de suceso de parámetros básicos presentadas en la tabla inferior y se han comparado con las proporciones de las concentraciones medias diarias de tiempo seco.

Tabla 7-10. Relaciones de interés entre concentraciones medias de parámetros básicos en tiempo seco y de lluvia.

	CMDTS	CMS									
	TIEMPO SECO	SUC_061008	SUC_211008	SUC_120109	SUC_150409	SUC_250409	SUC_100509	SUC_230509	SUC_040609	SUC_250609	SUC_240809
DQO/DBO ₅	1.69	1.61	2.06	2.02	2.07	1.72	1.92	2.03	1.95	1.78	1.79
DQO total / DQO soluble	2.83	3.86	7.01	6.19	6.54	10.69	3.85	9.20	5.78	9.16	5.75
N-NH ₄ ⁺ / Ntotal	0.68	0.63	0.34	0.40	0.54	0.40	0.55	0.36	0.45	0.36	0.31
P-PO ₄ ³⁻ / Ptotal	0.69	0.66	0.45	0.36	0.43	0.38	0.55	0.48	0.37	0.58	0.34
SSV/SS	0.87	0.87	0.77	0.75	0.83	0.81	0.81	0.81	0.68	0.79	0.81
SS/ST	0.38	0.40	0.77	0.73	0.59	0.70	0.59	0.64	0.59	0.73	0.73

De la tabla anterior cabe destacar la movilización de contaminación particulada durante el tiempo de lluvia. Las proporciones de DQO no soluble y sólidos en suspensión durante los sucesos muestreados son mayores con respecto a sus respectivos parámetros de contaminación totales. La diferenciación entre proporciones de contaminantes puede observarse en las siguientes figuras.

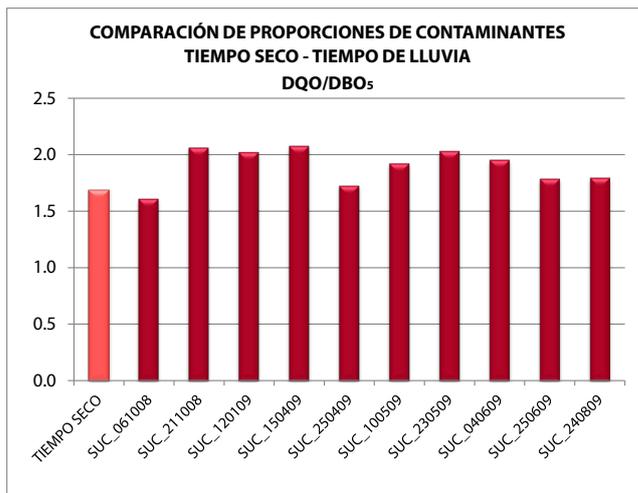


Figura 7-32. Relación entre DQO/DBO₅ en tiempo seco y de lluvia.

Las aguas residuales de la cuenca en tiempo de lluvia son, en general, ligeramente menos biodegradables que en tiempo seco.

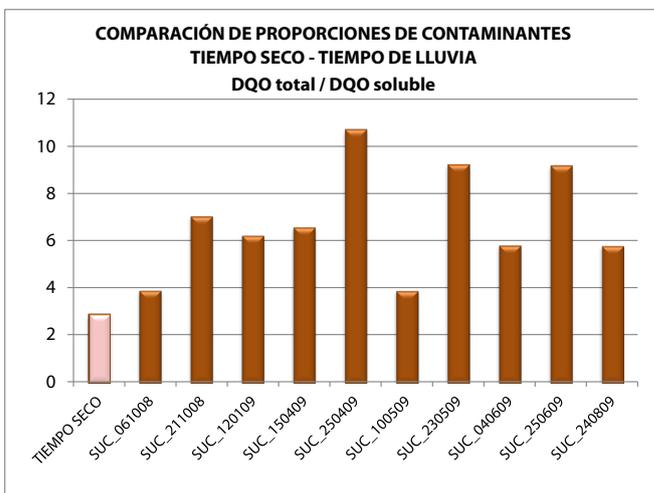


Figura 7-33. Relación entre DQO/DBO₅ en tiempo seco y de lluvia.

Como ya se ha comentado, la proporción de DQO no soluble en tiempo de lluvia es claramente mayor que en tiempo seco.

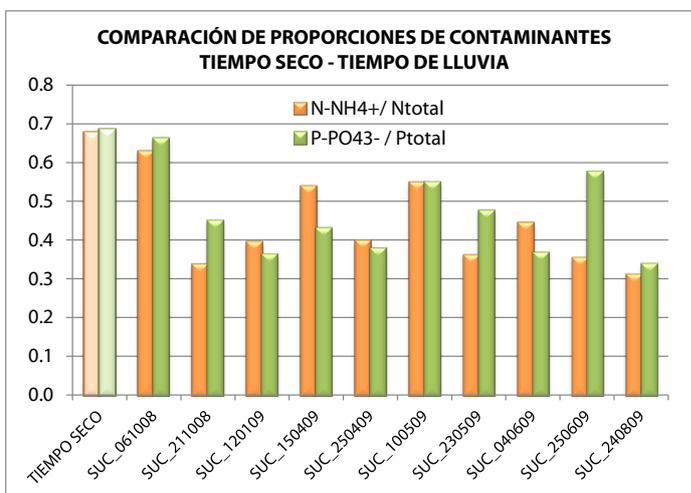


Figura 7-34. Relaciones entre las formas de nitrógeno y fósforo en tiempo seco y de lluvia.

Las proporciones entre el nitrógeno amoniacal y los fosfatos con respecto al N y P totales, respectivamente, son menores en tiempo de lluvia, esta característica es muy descriptiva de dos fenómenos existentes en tiempo de lluvia, en primer lugar, la escasa movilización de nitrógeno amoniacal y fosfatos y, en segundo lugar y más interesante, la importante movilización que se produce de nitrógeno y fósforo orgánicos presentes en los sedimentos depositados en la red de colectores del sistema durante el período de tiempo seco precedente.

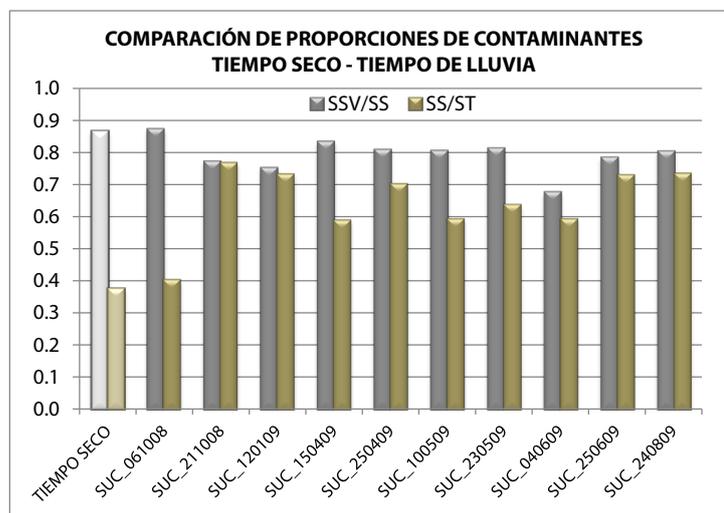


Figura 7-35. Relaciones entre los SSV, SS y ST.

De manera muy similar a la relación entre la DBO₅ y la DQO, la proporción de SSV con respecto a los SS es ligeramente inferior en tiempo de lluvia. Por otro lado, la proporción de los sólidos en suspensión con respecto a los totales en tiempo de lluvia es mucho más alta que en tiempo seco llegando en algunos sucesos muestreados a ser más del doble.

7.3.1.1. Comparación entre la cuenca del "Ensanche" y "Cancelón"

Las proporciones obtenidas entre parámetros de contaminación en tiempo de lluvia en la cuenca de "Ensanche" se han comparado con los obtenidos en otra cuenca unitaria denominada "Cancelón", también situada en la ciudad de Santiago de Compostela. Esta cuenca unitaria posee 80 ha de superficie total de tipo mixto, con zonas rurales y zonas más urbanas, y un área impermeable de, aproximadamente, un 56% (Beneyto, 2004).

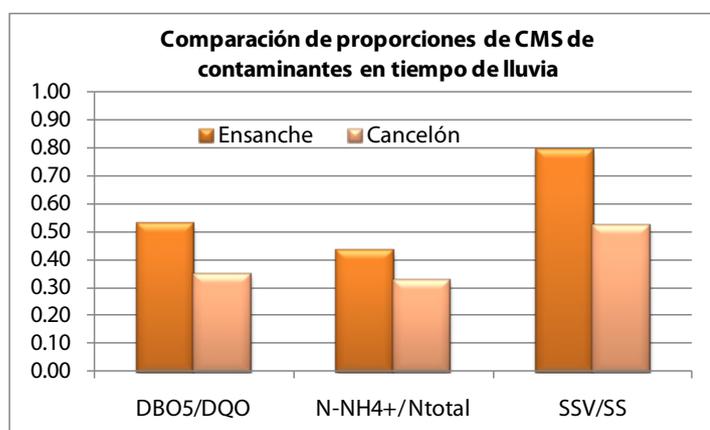


Figura 7-36. Proporciones entre contaminantes en las cuencas de "Ensanche" y "Cancelón".

De la figura anterior se extrae una conclusión muy clara, el agua residual de tiempo de lluvia de la cuenca del "Ensanche" es más biodegradable que la de "Cancelón" puesto que las relaciones de DBO₅/DQO y SSV/SS son superiores en el primer caso. Esto indica un elevado grado de materia orgánica en los sedimentos depositados en la red de saneamiento y drenaje del "Ensanche" durante los períodos de tiempo seco, lo cual es a su vez indicativo del origen altamente doméstico del agua residual. Por otro lado cabe resaltar la mayor proporción en esta cuenca de N-NH₄⁺/Ntotal debido al muestreo de eventos de lluvia con menor pluviometría frente a "Cancelón" lo cual implica una menor dilución del N amoniacal en el agua pluvial unitaria o mixta.

7.3.2. Distribución por fases de los metales

Se han analizado las proporciones asociadas a las fracciones disuelta y particulada para cada metal tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia en la cuenca "Ensanche". Además, se han comparado los resultados obtenidos en esta cuenca con los presentados en la tesis de Beneyto para la cuenca, también compostelana, de "Cancelón".

7.3.2.1. Comparación entre tiempo seco y tiempo de lluvia en el "Ensanche"

Se han contrastado las proporciones medias asignadas a las fracciones disuelta y particulada para cada metal obtenidas en tiempo seco y en tiempo de lluvia. En la siguiente figura se representan dichos valores.

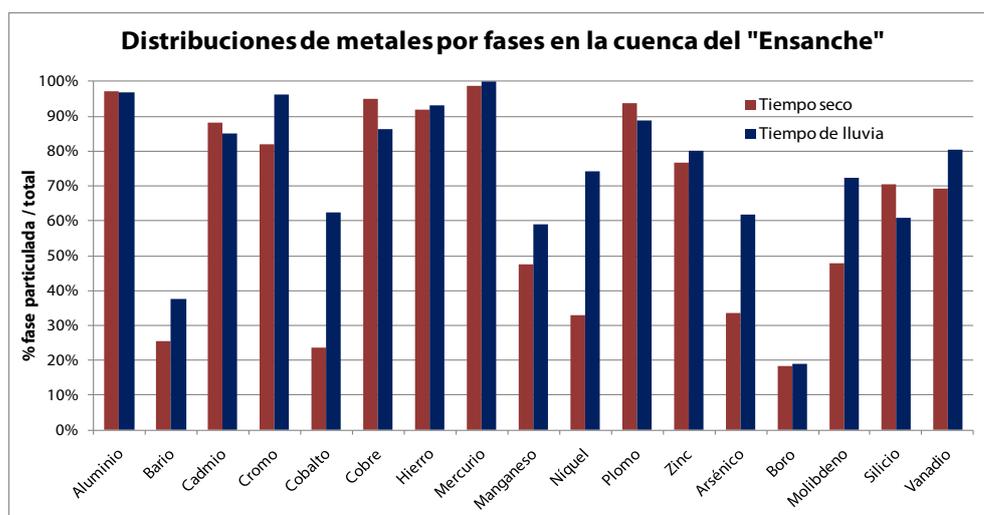


Figura 7-37. Comparación entre las distribuciones por fases de los metales en tiempo seco y de lluvia en "Ensanche".

Del análisis de la figura anterior se extrae que existe un comportamiento generalizado de manera que la proporción de los metales asociada a la fase particulada es similar o mayor en tiempo de lluvia con respecto al tiempo seco. No obstante, cabe destacar que dicha proporción aumenta significativamente en los casos del cobalto, níquel, arsénico y molibdeno.

El comportamiento observado en la totalidad de los metales durante los sucesos de lluvia muestreados se caracteriza por la existencia de una gran movilización de fracción particulada en la parte inicial de los hidrogramas. Este fenómeno se ejemplifica a continuación con los polutogramas de Zn en dos de los eventos caracterizados.

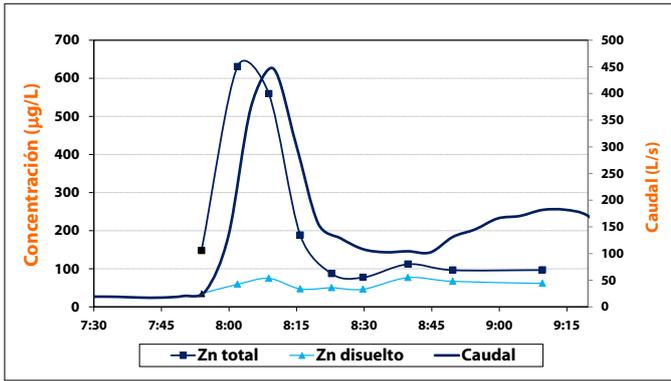


Figura 7-38. Polutogramas de Zn total y disuelto en el segundo suceso muestreado (SUC_211008).

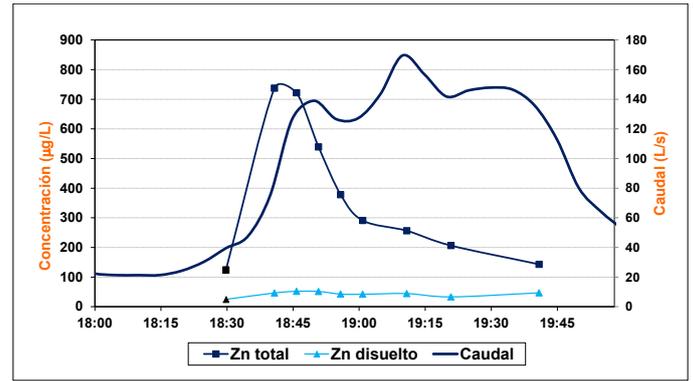


Figura 7-39. Polutogramas de Zn total y disuelto en el séptimo suceso muestreado (SUC_230509).

La elevada movilización de flujos particulados máxicos de metales durante el lavado de la red de saneamiento y drenaje implica que metales con una elevada proporción de fracción particulada en tiempo seco, tales como el cobre, plomo o zinc, aumenten todavía más dicha proporción para sus concentraciones máxicas en tiempo de lluvia, tal y como se observa en la siguiente figura.

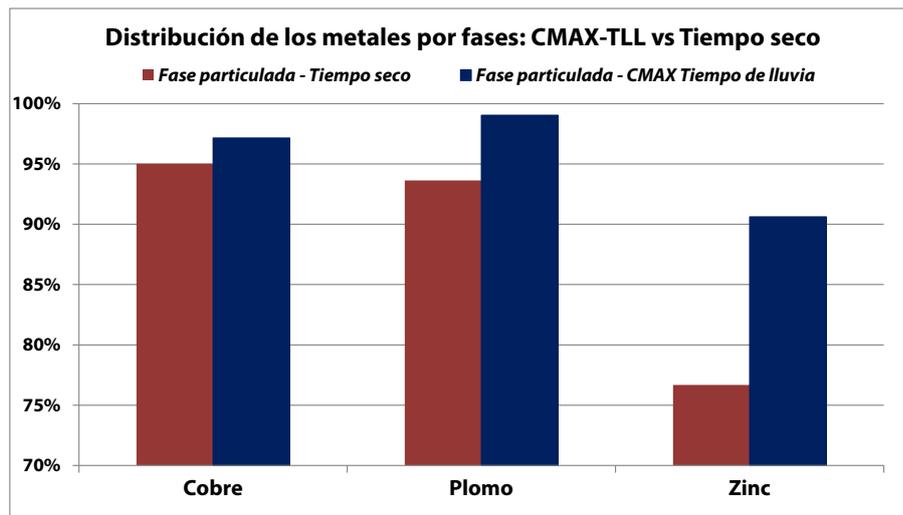


Figura 7-40. Comparación de las proporciones de fracción particulada de Cu, Pb y Zn a la CMAX en tiempo de lluvia frente a tiempo seco.

7.3.2.2. Comparación entre la cuenca del "Ensanche" y "Cancelón"

La tendencia en la distribución de los metales por fases, en la comparación entre tiempo seco y tiempo de lluvia analizada en el apartado anterior, se contrasta en éste con otra cuenca ya citada, la de "Cancelón" situada también en Santiago de Compostela. A continuación se representan las distribuciones de los metales más importantes por fases en ambas cuencas ("Ensanche" y "Cancelón") tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia.

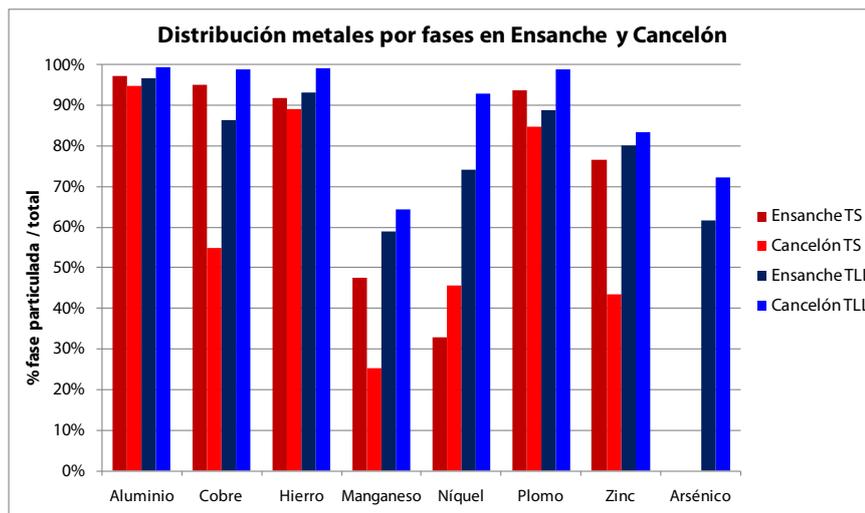


Figura 7-41. Comparación entre las distribuciones por fases de los metales en tiempo seco y de lluvia en el “Ensanche” y “Cancelón”.

De la figura anterior pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- ✓ En la cuenca de “Cancelón” la proporción de metales asociada a la fase particulada siempre es netamente superior en tiempo de lluvia con respecto a tiempo seco.
- ✓ Para tiempo seco, la proporción de metales asociada a la fase particulada es superior, en general, en la cuenca de “Ensanche” con respecto a “Cancelón”.
- ✓ Para tiempo de lluvia, la proporción de metales asociada a la fase particulada es alta en ambos casos, pero siempre ligeramente superior en el caso de “Cancelón”.

La tendencia de la gran mayoría de metales a presentarse en fase particulada en el agua residual de tiempo de lluvia, tal y como se observa en las cuencas compostelanas de “Cancelón” y “Ensanche”, la corrobora el estudio publicado por Gasperi et al. (2010) en el que se analizan 6 cuencas urbanas unitarias de la margen derecha del río Sena en París con superficies comprendidas entre 42 y 2600 hectáreas. En esta publicación se presentan los resultados obtenidos al analizar la distribución por fases de los metales Cu y Zn durante los aguaceros tanto en la entrada a la red de saneamiento y drenaje (mezcla de agua residual de tiempo seco y agua de escorrentía superficial) como en la salida de la red, es decir, agua pluvial unitaria. Los valores que se presentan se corresponden a dos de las cuencas estudiadas, en concreto la más pequeña y la mayor en superficie (Marais y Clichy, respectivamente), aunque los resultados en las 6 cuencas son similares. Dichos resultados indican que ambos metales se presentan mayoritariamente en forma particulada en la salida del sistema de saneamiento y drenaje (84-95%). Sin embargo, en la entrada a la red, el Zn se presenta mayoritariamente en forma disuelta (en forma particulada <25%) y el Cu es más particulado (fase particulada, >57%). Este importante incremento en la fase particulada de ambos metales puede ser debido según Gasperi et al. (2010) a dos causas, el lavado de sedimentos en la red o la adsorción a los sólidos en suspensión de fracción disuelta de metales proveniente de las aguas de escorrentía superficial, no obstante esta última puede influir en menor medida.

7.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN TIEMPO DE LLUVIA

El análisis estadístico de los resultados obtenidos en el estudio de la cuenca del “Ensanche” se ha centrado en una amplia selección de los parámetros medidos que se consideran más representativos con el objetivo de sintetizar y plasmar de una manera clara el comportamiento de la cuenca estudiada en tiempo de lluvia.

En primer lugar se ha realizado un análisis de correlación entre los contaminantes seleccionados para identificar las relaciones entre ellos y poder predecir los valores de unos parámetros a partir de otros cuya determinación analítica sea más sencilla.

A continuación se ha realizado un análisis completo de los datos de concentraciones y cargas de contaminantes movilizadas en la cuenca a partir de gráficas “box-whisker” y ajustes a distribuciones de probabilidad tanto lognormal como normal. Los resultados obtenidos en la cuenca en tiempo de lluvia se contrastan con los de tiempo seco de la misma y con los de tiempo de lluvia de otras cuencas unitarias estudiadas en España.

La selección de los metales para su análisis consistió en la realización de una matriz en la que se identifican los metales recogidos en referencias de textos legales de control de la contaminación en vertidos, de control de la calidad de las aguas en el medio natural y de calidad para usos consuntivos así como estudios de contaminación en redes unitarias. A continuación se sumaron el número de veces que se cita cada metal en dichas referencias, al valor resultante se le denomina “relevancia”.

Se seleccionaron los metales con un valor de relevancia mayor; no obstante de entre ellos se han descartado para su estudio el cadmio, mercurio y selenio, debido a su escasa o nula concentración en la cuenca, y el boro por tratarse del metal que presenta una movilización en tiempo de lluvia menor, tal y como ya se ha comentado anteriormente. Por lo tanto los ocho metales seleccionados para su análisis en tiempo de lluvia han sido: aluminio, arsénico, cromo, cobre, manganeso, níquel, plomo y zinc.

Tabla 7-11. Matriz de análisis de metales recogidos en la legislación y en estudios de contaminación.

	TOTAL	ESTUDIOS CONTAMINACIÓN REDES UNITARIAS		CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN VERTIDOS			Relevancia	CONTROL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN EL MEDIO NATURAL				Relevancia	CALIDAD PARA USOS FUERA DEL MEDIO NATURAL			Relevancia
		CUCENCA CANCELÓN (Beneyto, 2004)	PROMEDSU (MMA, 2002)	Directiva 2006/11/CE, contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio	Ordenanza vertido al alcantarillado -Barcelona	R.A.P.A.P.H. - Título IV - Canon de vertido (Tablas I,II,III)		Directiva 2008/105/CE, Normas de Calidad Ambiental en el ámbito de la política de aguas	ORDEN 11-5-1988 A1, A2, A3	Directiva 2006/44/CE, calidad de las aguas continentales para la vida de los peces	Ley 8/2001 de protección de la calidad de las rías de Galicia		Real Decreto 1310/1990, utilización de los lodos de depuración	Real Decreto 140/2003, calidad del agua de consumo humano	RIEGO	
Aluminio	5						3					0				2
Antimonio	3						2					0				1
Arsénico	8						4					2				2
Bario	4						3					1				0
Berilio	2						1					0				1
Boro ³⁾	6						3					1				2
Cadmio ¹⁾	9						3					3				3
Cobalto	2						1					0				1
Cobre	11						5					3				3
Cromo	8						3					2				3
Estaño	3						3					0				0
Hierro	4						3					0				1
Manganeso	6						3					1				2
Mercurio ¹⁾	9						3					3				3
Molibdeno	3						2					0				1
Níquel	9						4					2				3
Plomo	11						5					3				3
Selenio ²⁾	7						3					2				2
Vanadio	2						1					0				1
Zinc	10						5					3				2

1) Concentraciones en la cuenca estudiada muy bajas

2) Concentraciones en la cuenca estudiada por debajo del límite de detección

3) Metal con menor movilización en la cuenca estudiada

7.4.1. Análisis de correlación entre los parámetros de contaminación seleccionados

El conocimiento de las correlaciones entre los datos es un aspecto importante a la hora de realizar el análisis de los registros muestreados en un estudio de la contaminación de las aguas de escorrentía. Las matrices de correlación se convierten en una herramienta muy útil cuando se generan modelos estocásticos ya que permite analizar la dependencia entre las distintas variables.

Habitualmente los paquetes estadísticos incluyen este tipo de herramienta de análisis. En la tabla siguiente se presenta una matriz de correlación de Pearson, que cuantifica el grado de asociación entre los registros de las variables analizadas.

El coeficiente de correlación entre dos variables indica en qué medida están linealmente relacionadas. Un valor cercano a 1 (en valor absoluto) indica un alto grado de correlación. De este modo, el valor de una variable se podrá predecir a partir del valor de la otra empleando una transformación lineal. Si el coeficiente de correlación es inferior a 0.7 la correlación es leve y por debajo de 0.5 casi inexistente.

El análisis de las correlaciones entre contaminantes en tiempo de lluvia se centró en los metales seleccionados en el apartado anterior y los siguientes parámetros básicos: DQO, DQO soluble, DBO₅, N total, N amoniacal, P total, SS, SSV, SD, ST, turbidez, pH, conductividad a 20° y coliformes fecales.

Las correlaciones entre todos los parámetros analizados en el estudio de la cuenca se presentan en el ANEJO RESULTADOS Y CORRELACIONES DE TODOS LOS PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN ANALIZADOS EN LA CUENCA EN TIEMPO DE LLUVIA.

7.4.1.1. Análisis de correlación de concentraciones entre contaminantes seleccionados

El mismo análisis estadístico realizado sobre las muestras de tiempo seco se repite para las 74 muestras de tiempo de lluvia recogidas en los diez sucesos muestreados en la cuenca del "Ensanche".

7.4.1.1.1. Parámetros básicos

En la siguiente tabla se muestra la matriz de correlación de parámetros básicos más relevantes de tiempo de lluvia que se obtuvo con el programa de análisis estadístico MINITAB (versión 15.0).

En este análisis de parámetros básicos se han incluido los parámetros de contaminación de nitrógeno orgánico (N_{org}) y fósforo orgánico (P_{org}). El N_{org} se ha calculado por diferencia entre el N total y el amoniacal despreciando las concentraciones de nitratos y nitritos las cuales, de las conclusiones extraídas de la campaña de tiempo seco en la cuenca, son despreciables. El P_{org} se ha obtenido por diferencia entre el total y los fosfatos.

Se han marcado en rojo los valores muy correlacionados, en verde los valores con correlación significativa, en azul los levemente correlacionados y en negro los que no tienen correlación.

Tabla 7-12. Matriz de correlación de parámetros básicos seleccionados en tiempo de lluvia.

	DQO	DQO_sol	DBO ₅	N_total	N_org	N_amoniacal	P_total	P_org	SS	SSV	SD	ST	Turbidez	Cond. 20°	pH	CF
DQO	1.00	0.87	0.97	0.82	0.90	0.46	0.95	0.91	0.95	0.95	0.73	0.97	0.88	0.47	-0.49	0.60
DQO_sol	0.87	1.00	0.85	0.81	0.79	0.61	0.84	0.79	0.84	0.84	0.72	0.87	0.82	0.64	-0.26	0.56
DBO ₅	0.97	0.85	1.00	0.83	0.91	0.46	0.96	0.94	0.96	0.96	0.74	0.98	0.91	0.48	-0.49	0.61
N_total	0.82	0.81	0.83	1.00	0.93	0.82	0.91	0.72	0.77	0.77	0.88	0.84	0.68	0.79	-0.18	0.64
N_org	0.90	0.79	0.91	0.93	1.00	0.55	0.93	0.81	0.87	0.86	0.83	0.92	0.77	0.53	-0.36	0.64
N_amoniacal	0.46	0.61	0.46	0.82	0.55	1.00	0.61	0.37	0.39	0.40	0.70	0.49	0.34	0.96	0.14	0.46
P_total	0.95	0.84	0.96	0.91	0.93	0.61	1.00	0.92	0.93	0.92	0.80	0.95	0.85	0.61	-0.41	0.58
P_org	0.91	0.79	0.94	0.72	0.81	0.37	0.92	1.00	0.95	0.95	0.61	0.94	0.94	0.41	-0.49	0.45
SS	0.95	0.84	0.96	0.77	0.87	0.39	0.93	0.95	1.00	1.00	0.64	0.99	0.95	0.39	-0.45	0.58
SSV	0.95	0.84	0.96	0.77	0.86	0.40	0.92	0.95	1.00	1.00	0.63	0.98	0.95	0.40	-0.43	0.58
SD	0.73	0.72	0.74	0.88	0.83	0.70	0.80	0.61	0.64	0.63	1.00	0.74	0.59	0.70	-0.28	0.63
ST	0.97	0.87	0.98	0.84	0.92	0.49	0.95	0.94	0.99	0.98	0.74	1.00	0.94	0.49	-0.44	0.64
Turbidez	0.88	0.82	0.91	0.68	0.77	0.34	0.85	0.94	0.95	0.95	0.59	0.94	1.00	0.39	-0.42	0.56
Cond. 20°	0.47	0.64	0.48	0.79	0.53	0.96	0.61	0.41	0.39	0.40	0.70	0.49	0.39	1.00	0.13	0.43
pH	-0.49	-0.26	-0.49	-0.18	-0.36	0.14	-0.41	-0.49	-0.45	-0.43	-0.28	-0.44	-0.42	0.13	1.00	-0.31
CF	0.60	0.56	0.61	0.64	0.64	0.46	0.58	0.45	0.58	0.58	0.63	0.64	0.56	0.43	-0.31	1.00

Se observa que la matriz, lógicamente, es simétrica y que los pares de valores iguales (DQO-DQO) recorren la diagonal con un valor igual a 1. Las conclusiones que se extraen son las siguientes:

- ✓ En el capítulo anterior se presenta la alta correlación existente entre la DQO, DBO₅, SS, SSV, ST y turbidez en las concentraciones de tiempo seco de la cuenca, por lo observado en la tabla anterior, en tiempo de lluvia las correlaciones entre este grupo de parámetros son incluso más altas con la adición del N total y el P total debido a la movilización durante los sucesos de lluvia de N orgánico y P orgánico presentes en los sedimentos depositados en la red durante el período de tiempo seco precedente.
- ✓ El N amoniacal correlaciona ligeramente con la DQO soluble y los sólidos disueltos, significativamente con el N total y está altísimamente correlacionado con la conductividad.
- ✓ El pH no solo no correlaciona con ningún parámetro sino que presenta una tendencia de comportamiento inversa con todos los parámetros excepto el N amoniacal y la conductividad los cuales tienden a disminuir su concentración en tiempo de lluvia.
- ✓ Los coliformes fecales están ligeramente correlacionados con todos los parámetros excepto con los que presentan tendencia a disminuir su concentración en tiempo de lluvia, N amoniacal, pH y conductividad.

A partir de la información facilitada por la matriz de correlación de los parámetros básicos seleccionados en tiempo de lluvia se obtuvieron relaciones entre variables. La relación entre dos variables se calculó haciendo una regresión lineal simple, utilizando el principio de mínimos cuadrados. Los resultados se muestran a continuación. Se han seleccionado los parámetros que presentan una relación más clara.

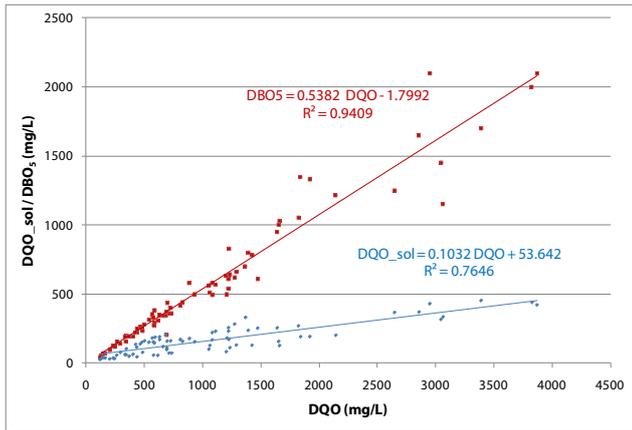


Figura 7-42. Relación entre los consumidores de oxígeno en tiempo de lluvia.

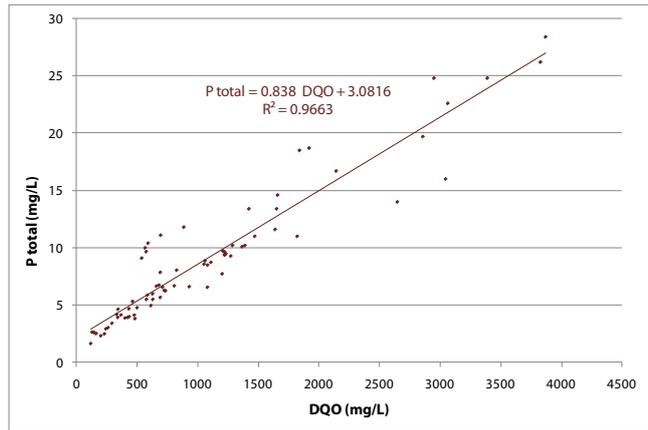


Figura 7-43. Relación entre la DQO y el P total en tiempo de lluvia.

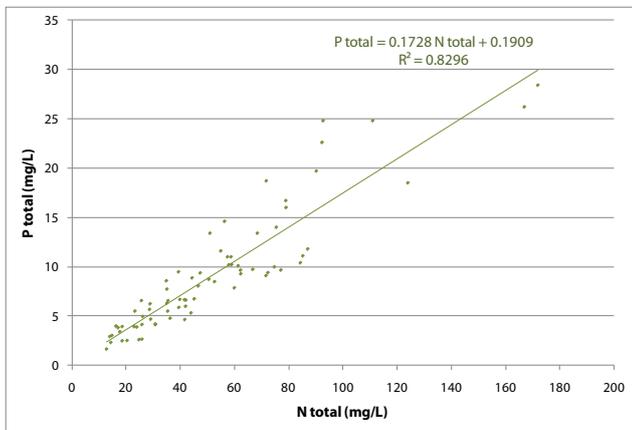


Figura 7-44. Relación entre el N total y el P total en tiempo de lluvia.

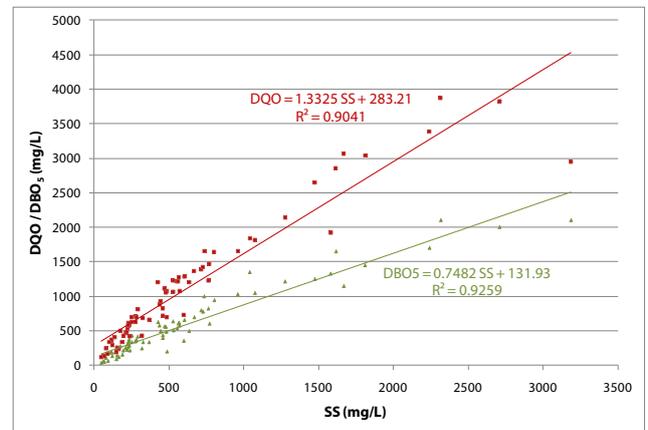


Figura 7-45. Relación entre los SS y los consumidores de oxígeno en tiempo de lluvia.

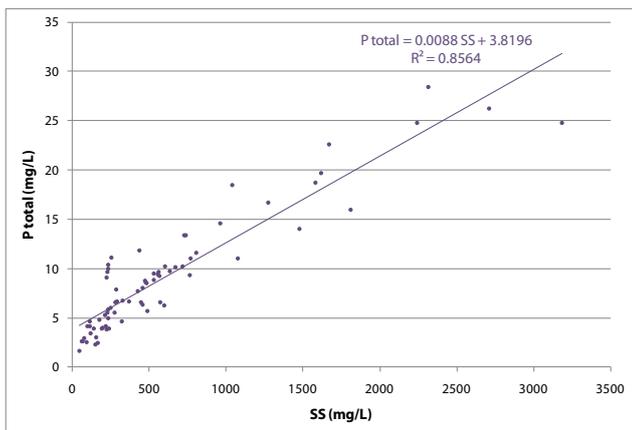


Figura 7-46. Relación entre los SS y el P total en tiempo de lluvia.

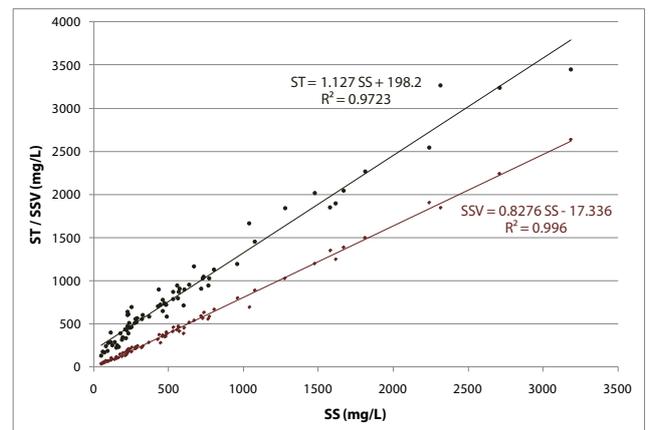


Figura 7-47. Relación entre los SS y los SSV y ST en tiempo de lluvia.

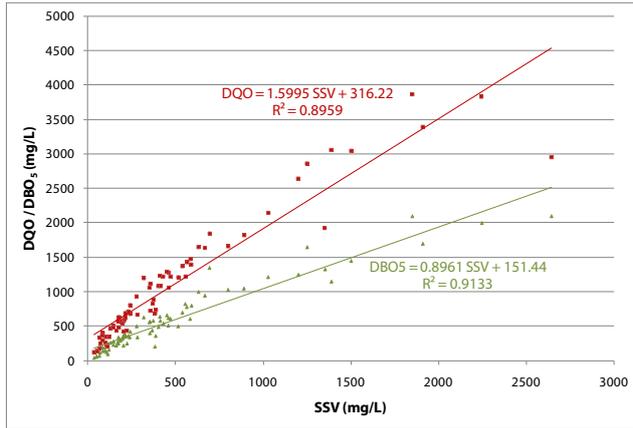


Figura 7-48. Relación entre los SSV y los consumidores de oxígeno en tiempo de lluvia.

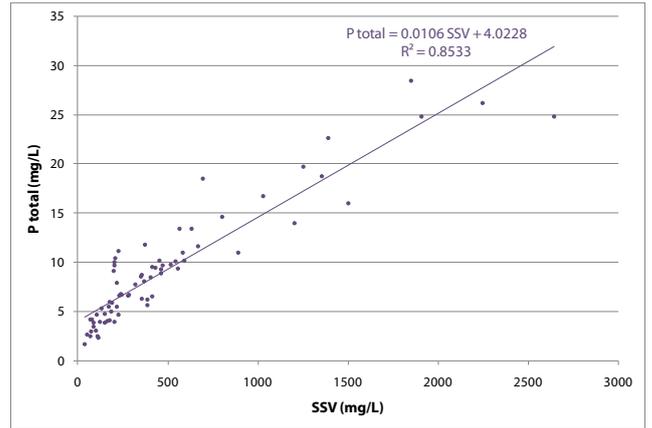


Figura 7-49. Relación entre los SSV y el P total en tiempo de lluvia.

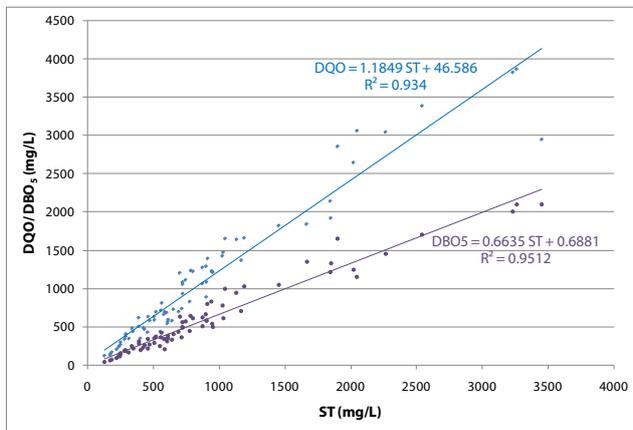


Figura 7-50. Relación entre los ST y los consumidores de oxígeno en tiempo de lluvia.

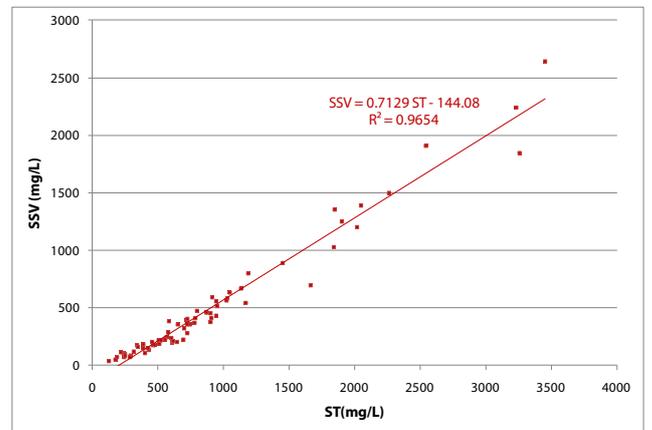


Figura 7-51. Relación entre los ST y los SSV en tiempo de lluvia.

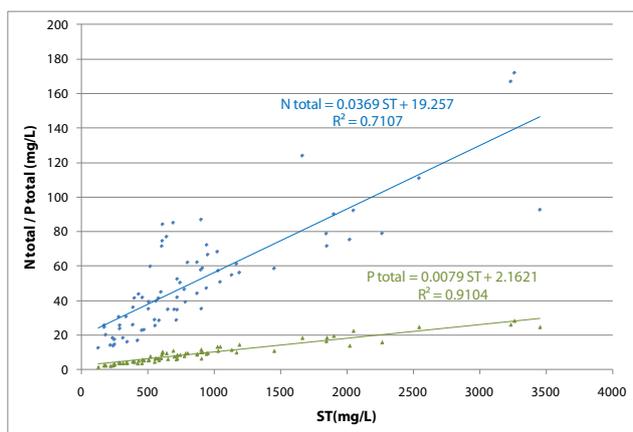


Figura 7-52. Relación entre los ST y el N y P totales en tiempo de lluvia.

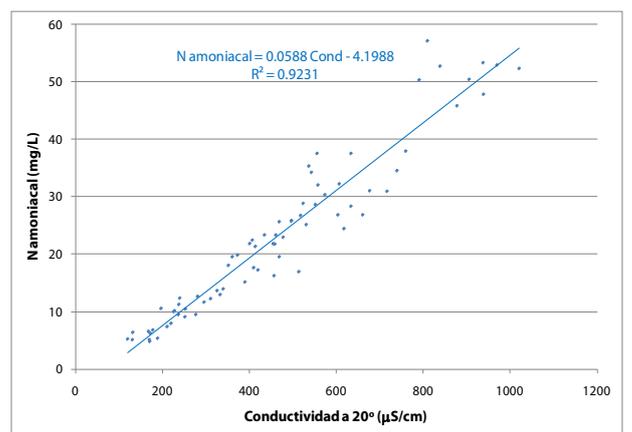


Figura 7-53. Relación entre la conductividad y el N amoniacal en tiempo de lluvia.

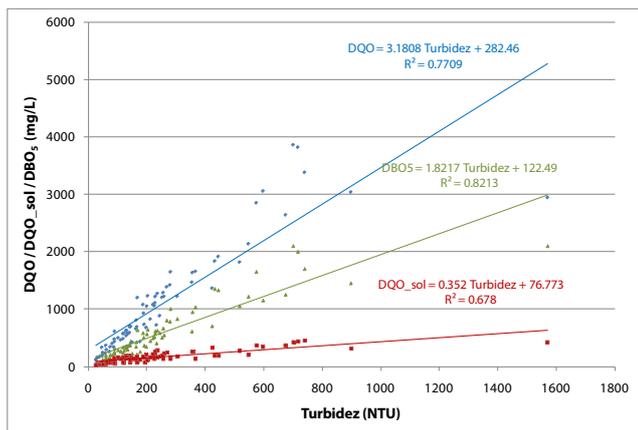


Figura 7-54. Relación entre la turbidez y los consumidores de oxígeno en tiempo de lluvia.

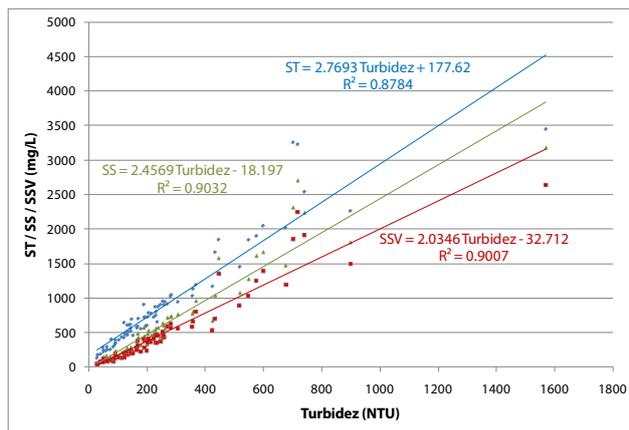


Figura 7-55. Relación entre la turbidez y los sólidos en tiempo de lluvia.

7.4.1.1.2. Metales seleccionados

En la tabla siguiente se muestra la matriz de correlación de los parámetros básicos y metales seleccionados en tiempo de lluvia que se obtuvo con el programa MINITAB. Se han marcado en rojo los valores muy correlacionados, en verde los valores con correlación significativa, en azul los levemente correlacionados y, en negro, los que no tienen correlación.

Tabla 7-13. Matriz de correlación de metales seleccionados en tiempo de lluvia.

	Al_T	Cr_T	Cu_T	Mn_T	Ni_T	Pb_T	Zn_T	As_T	Al_P	Cr_P	Cu_P	Mn_P	Ni_P	Pb_P	Zn_P	As_P	Al_D	Cr_D	Cu_D	Mn_D	Ni_D	Pb_D	Zn_D	As_D
DQO	0.78	0.77	0.69	0.94	0.66	0.71	0.81	0.81	0.78	0.78	0.69	0.83	0.55	0.71	0.83	0.70	0.44	0.25	-0.04	0.86	0.78	0.09	-0.06	0.13
DQO_soluble	0.68	0.57	0.53	0.79	0.43	0.65	0.69	0.71	0.67	0.56	0.53	0.70	0.29	0.64	0.69	0.62	0.46	0.32	-0.01	0.72	0.77	0.27	0.04	0.10
DBO5	0.80	0.80	0.69	0.94	0.66	0.76	0.82	0.83	0.80	0.80	0.69	0.84	0.56	0.76	0.85	0.75	0.44	0.25	-0.09	0.87	0.75	0.07	-0.08	0.04
N_total	0.48	0.45	0.68	0.77	0.47	0.45	0.48	0.61	0.48	0.45	0.68	0.65	0.40	0.46	0.53	0.57	0.29	0.05	-0.19	0.74	0.50	0.03	-0.33	-0.05
N_amoniacal	0.08	0.02	0.44	0.35	0.13	0.12	0.08	0.22	0.08	0.02	0.44	0.30	0.11	0.12	0.14	0.24	0.10	-0.05	-0.17	0.34	0.12	0.09	-0.41	-0.11
P_total	0.70	0.70	0.69	0.92	0.65	0.67	0.75	0.75	0.70	0.71	0.69	0.83	0.56	0.68	0.78	0.67	0.36	0.16	-0.15	0.82	0.67	0.02	-0.20	0.04
SS	0.83	0.81	0.62	0.92	0.60	0.82	0.83	0.84	0.82	0.81	0.62	0.83	0.49	0.82	0.85	0.75	0.41	0.23	-0.02	0.82	0.76	0.10	-0.03	0.05
SSV	0.81	0.80	0.60	0.90	0.58	0.82	0.82	0.83	0.81	0.80	0.60	0.82	0.47	0.82	0.84	0.74	0.39	0.23	-0.02	0.80	0.76	0.09	-0.04	0.04
SD	0.46	0.43	0.58	0.71	0.46	0.41	0.46	0.54	0.46	0.42	0.58	0.60	0.39	0.41	0.52	0.52	0.22	0.37	-0.19	0.69	0.53	-0.01	-0.40	-0.08
ST	0.81	0.80	0.65	0.93	0.61	0.79	0.81	0.86	0.81	0.81	0.65	0.84	0.50	0.79	0.84	0.78	0.41	0.25	-0.05	0.84	0.76	0.10	-0.10	0.02
Turbidez	0.90	0.79	0.48	0.87	0.49	0.94	0.89	0.87	0.89	0.79	0.48	0.82	0.37	0.94	0.90	0.82	0.41	0.29	0.02	0.73	0.71	0.17	0.03	-0.09
Cond. 20°	0.18	0.13	0.38	0.37	0.15	0.19	0.17	0.31	0.18	0.13	0.38	0.36	0.13	0.19	0.22	0.34	0.08	0.04	-0.18	0.30	0.16	0.10	-0.37	-0.17
pH	-0.54	-0.61	-0.49	-0.60	-0.58	-0.41	-0.59	-0.52	-0.53	-0.61	-0.49	-0.44	-0.52	-0.41	-0.58	-0.50	-0.57	0.23	0.10	-0.69	-0.52	-0.11	-0.13	0.08
CF	0.43	0.42	0.60	0.58	0.24	0.44	0.40	0.56	0.43	0.41	0.60	0.44	0.18	0.44	0.46	0.62	0.33	0.34	-0.19	0.63	0.37	-0.08	-0.42	-0.30
	Al_T	Cr_T	Cu_T	Mn_T	Ni_T	Pb_T	Zn_T	As_T	Al_P	Cr_P	Cu_P	Mn_P	Ni_P	Pb_P	Zn_P	As_P	Al_D	Cr_D	Cu_D	Mn_D	Ni_D	Pb_D	Zn_D	As_D
Al_T	1.00	0.88	0.43	0.85	0.60	0.92	0.95	0.94	1.00	0.88	0.43	0.84	0.49	0.92	0.94	0.88	0.39	0.29	0.09	0.66	0.71	0.26	0.18	-0.07
Cr_T	0.88	1.00	0.44	0.83	0.74	0.78	0.88	0.83	0.88	1.00	0.44	0.75	0.66	0.78	0.87	0.77	0.39	0.36	0.07	0.79	0.73	0.18	0.17	-0.04
Cu_T	0.43	0.44	1.00	0.66	0.55	0.34	0.46	0.47	0.43	0.44	1.00	0.48	0.51	0.34	0.50	0.38	0.38	0.08	-0.11	0.75	0.43	-0.03	-0.22	0.16
Mn_T	0.85	0.83	0.66	1.00	0.76	0.78	0.88	0.86	0.85	0.83	0.66	0.93	0.67	0.78	0.90	0.77	0.45	0.18	-0.10	0.86	0.72	0.10	-0.01	0.06
Ni_T	0.60	0.74	0.55	0.76	1.00	0.45	0.68	0.56	0.60	0.75	0.55	0.69	0.98	0.45	0.68	0.42	0.36	0.09	-0.10	0.67	0.52	0.01	0.04	0.26
Pb_T	0.92	0.78	0.34	0.78	0.45	1.00	0.90	0.85	0.92	0.78	0.34	0.80	0.36	1.00	0.91	0.82	0.31	0.26	0.06	0.57	0.58	0.17	0.10	-0.14
Zn_T	0.95	0.88	0.46	0.88	0.68	0.90	1.00	0.87	0.95	0.88	0.46	0.88	0.58	0.90	0.99	0.80	0.44	0.24	-0.02	0.66	0.70	0.14	0.19	-0.03
As_T	0.94	0.83	0.47	0.86	0.56	0.85	0.87	1.00	0.94	0.83	0.47	0.81	0.47	0.84	0.86	0.94	0.35	0.34	0.21	0.76	0.69	0.40	0.15	-0.08
Al_P	1.00	0.88	0.43	0.85	0.60	0.92	0.95	0.94	1.00	0.88	0.43	0.85	0.49	0.92	0.94	0.88	0.38	0.29	0.10	0.65	0.71	0.26	0.17	-0.07
Cr_P	0.88	1.00	0.44	0.83	0.75	0.78	0.88	0.83	0.88	1.00	0.44	0.75	0.67	0.78	0.88	0.77	0.40	0.32	0.05	0.78	0.71	0.17	0.17	-0.05
Cu_P	0.43	0.44	1.00	0.66	0.55	0.34	0.46	0.47	0.43	0.44	1.00	0.48	0.51	0.34	0.50	0.38	0.38	0.07	-0.13	0.75	0.43	-0.04	-0.22	0.15
Mn_P	0.84	0.75	0.48	0.93	0.69	0.80	0.88	0.81	0.85	0.75	0.48	1.00	0.63	0.80	0.91	0.73	0.21	0.07	-0.11	0.61	0.58	0.02	-0.06	0.04
Ni_P	0.49	0.66	0.51	0.67	0.98	0.36	0.58	0.47	0.49	0.67	0.51	0.63	1.00	0.36	0.60	0.35	0.29	-0.03	-0.15	0.56	0.33	-0.06	-0.01	0.23
Pb_P	0.92	0.78	0.34	0.78	0.45	1.00	0.90	0.84	0.92	0.78	0.34	0.80	0.36	1.00	0.91	0.82	0.31	0.25	0.05	0.57	0.57	0.15	0.08	-0.15
Zn_P	0.94	0.87	0.50	0.90	0.68	0.91	0.99	0.86	0.94	0.88	0.50	0.91	0.60	0.91	1.00	0.80	0.38	0.26	-0.06	0.67	0.68	0.08	0.06	-0.04
As_P	0.88	0.77	0.38	0.77	0.42	0.82	0.80	0.94	0.88	0.77	0.38	0.73	0.35	0.82	0.80	1.00	0.34	0.25	0.04	0.68	0.54	0.34	0.10	-0.41
Al_D	0.39	0.39	0.38	0.45	0.36	0.31	0.44	0.35	0.38	0.40	0.38	0.21	0.29	0.31	0.38	0.34	1.00	0.02	-0.08	0.66	0.49	0.33	0.52	-0.06
Cr_D	0.29	0.36	0.08	0.18	0.09	0.26	0.24	0.34	0.29	0.32	0.07	0.07	-0.03	0.25	0.26	0.25	0.02	1.00	0.37	0.33	0.63	0.22	-0.07	0.18
Cu_D	0.09	0.07	-0.11	-0.10	-0.10	0.06	-0.02	0.21	0.10	0.05	-0.13	-0.11	-0.15	0.05	-0.06	0.04	-0.08	0.37	1.00	-0.06	0.18	0.62	0.25	0.47
Mn_D	0.66	0.79	0.75	0.86	0.67	0.57	0.66	0.76	0.65	0.78	0.75	0.61	0.56	0.57	0.67	0.68	0.66	0.33	-0.06	1.00	0.74	0.17	0.05	0.07
Ni_D	0.71	0.73	0.43	0.72	0.52	0.58	0.70	0.69	0.71	0.71	0.43	0.58	0.33	0.57	0.68	0.54	0.49	0.63	0.18	0.74	1.00	0.29	0.26	0.27
Pb_D	0.26	0.18	-0.03	0.10	0.01	0.17	0.14	0.40	0.26	0.17	-0.04	0.02	-0.06	0.15	0.08	0.34	0.33	0.22	0.62	0.17	0.29	1.00	0.50	0.09
Zn_D	0.18	0.17	-0.22	-0.01	0.04	0.10	0.19	0.15	0.17	0.17	-0.22	-0.06	-0.01	0.08	0.06	0.10	0.52	-0.07	0.25	0.05	0.26	0.50	1.00	0.10
As_D	-0.07	-0.04	0.16	0.06	0.26	-0.14	-0.03	-0.08	-0.07	-0.05	0.15	0.04	0.23	-0.15	-0.04	-0.41	-0.06	0.18	0.47	0.07	0.27	0.09	0.10	1.00

Observando la matriz de correlación se concluye lo siguiente:

- ✓ Los metales totales y su fracción particulada así como las fracciones disueltas de Mn y Ni tienen un comportamiento similar y, en general, correlacionan bien con los parámetros básicos DQO, DBO₅, P total, SS, SSV, ST y turbidez; sin embargo, esta correlación es más leve o escasa con el N total y los SD. Es destacable el comportamiento del Mn que, en tiempo seco, no correlaciona con ningún parámetro básico y, en tiempo de lluvia, es el metal con la correlación más alta. El metal con una correlación más leve con los parámetros básicos citados es el Cu.
- ✓ De las fracciones disueltas de los metales tan solo correlacionan levemente con los sólidos disueltos las de Mn y Ni.
- ✓ El N amoniacal, la conductividad y el pH no correlacionan con ningún metal.
- ✓ Los metales totales y sus fracciones particuladas tienen una correlación altísima.
- ✓ Los metales totales correlacionan entre sí a excepción del Cu que tan solo correlaciona con el Mn y el Ni.
- ✓ El grupo de metales totales formado por Al, Pb, Zn y As están altamente correlacionados entre sí.
- ✓ Las fracciones disueltas de los metales, a excepción de los casos del Mn y Ni, no presentan una correlación nítida entre sí y tampoco correlacionan con ningún parámetro.

A continuación se presentan gráficamente los resultados de las regresiones lineales simples realizadas entre los parámetros con mayor correlación entre sí.

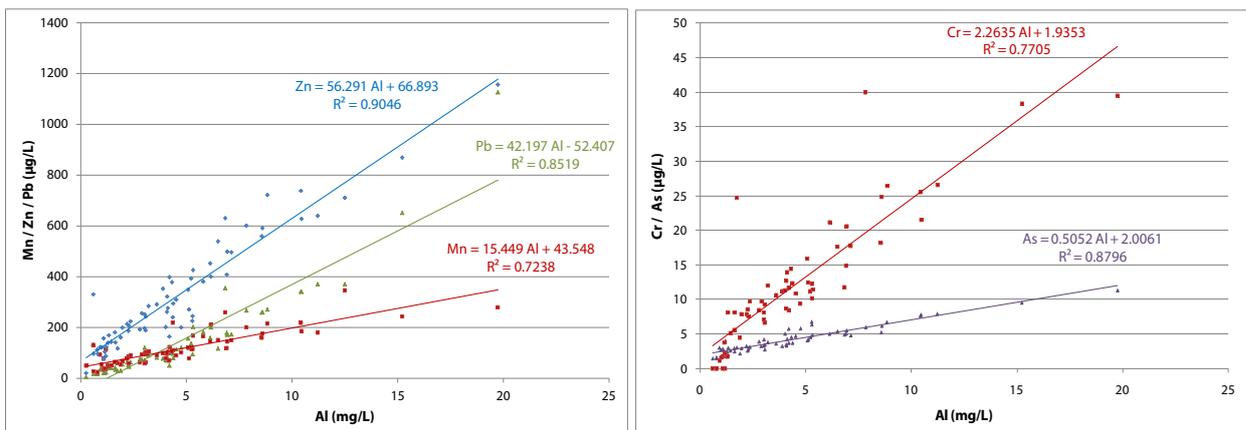


Figura 7-56. Relación entre el aluminio y el manganeso, plomo, zinc, arsénico y cromo en tiempo de lluvia.

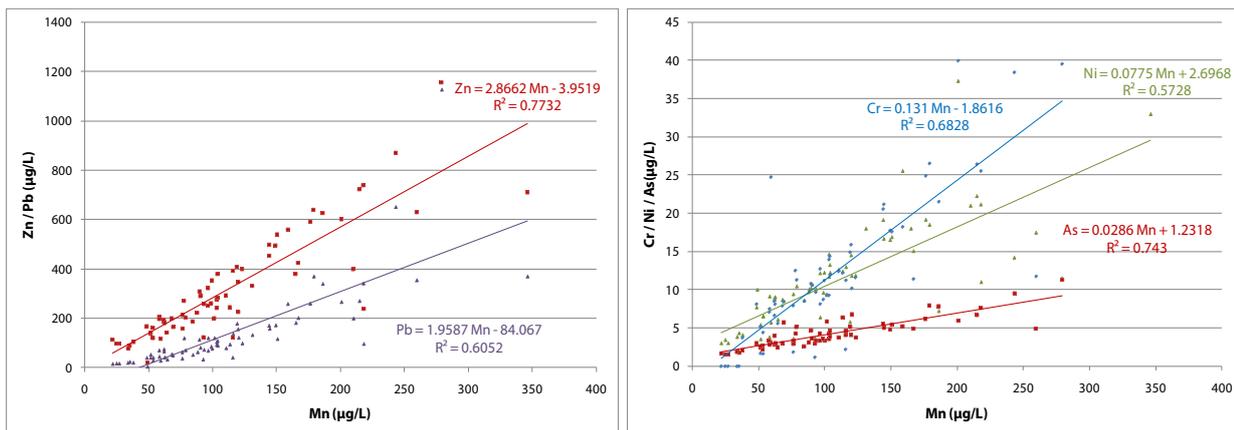


Figura 7-57. Relación entre el manganeso y el plomo, zinc, arsénico, níquel y cromo en tiempo de lluvia.

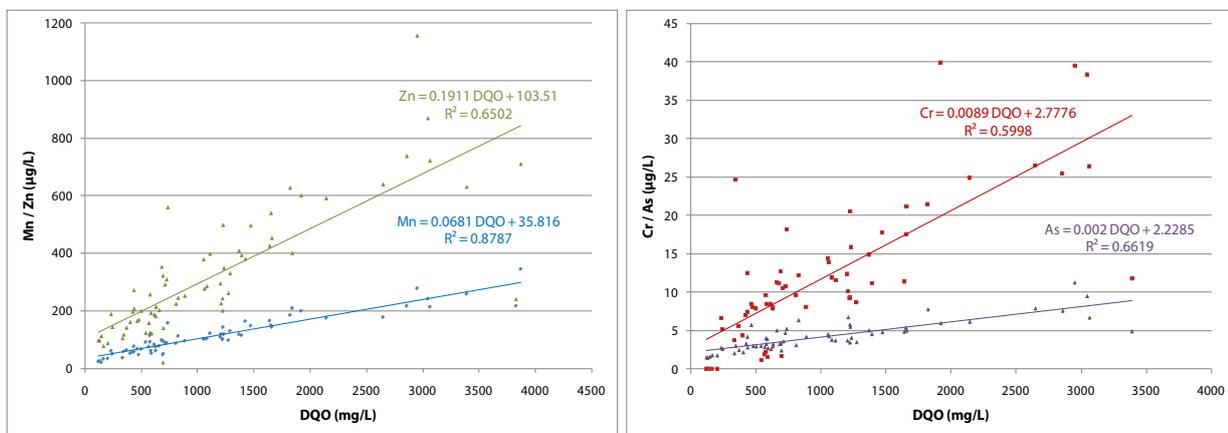


Figura 7-58. Relación entre la DQO y los metales manganeso, zinc, arsénico y cromo en tiempo de lluvia.

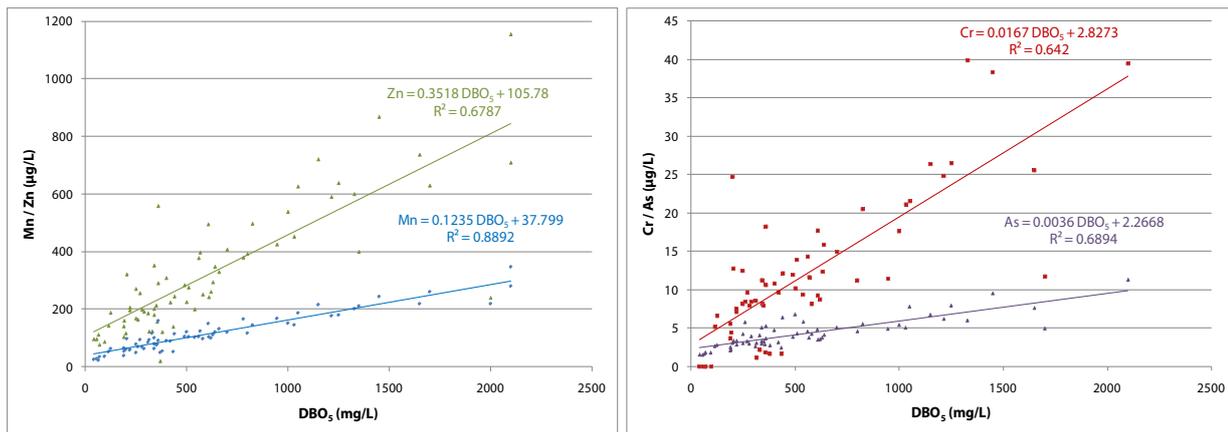


Figura 7-59. Relación entre la DBO₅ y los metales manganeso, zinc, arsénico y cromo en tiempo de lluvia.

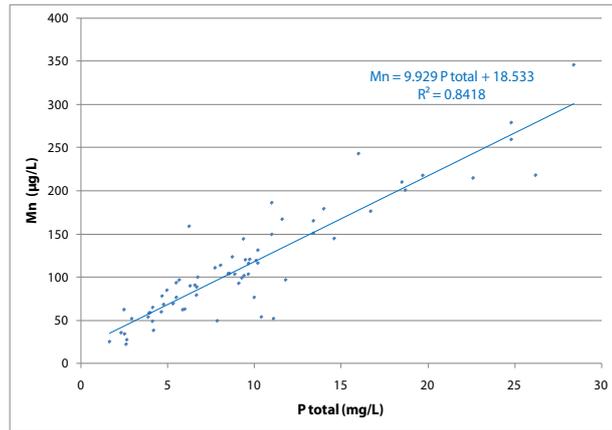


Figura 7-60. Relación entre el P total y el manganeso.

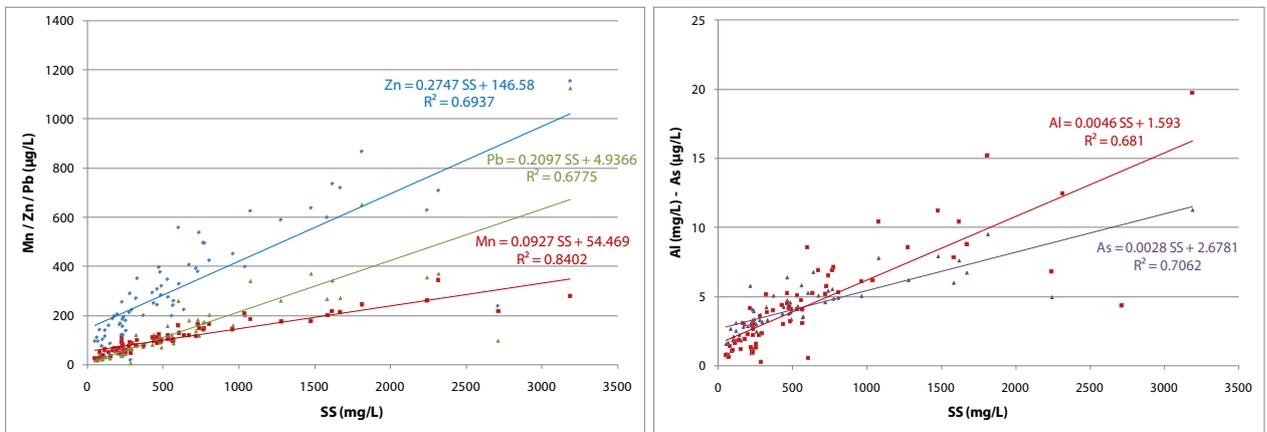


Figura 7-61. Relación entre los SS y los metales manganeso, plomo, zinc, arsénico y aluminio en tiempo de lluvia.

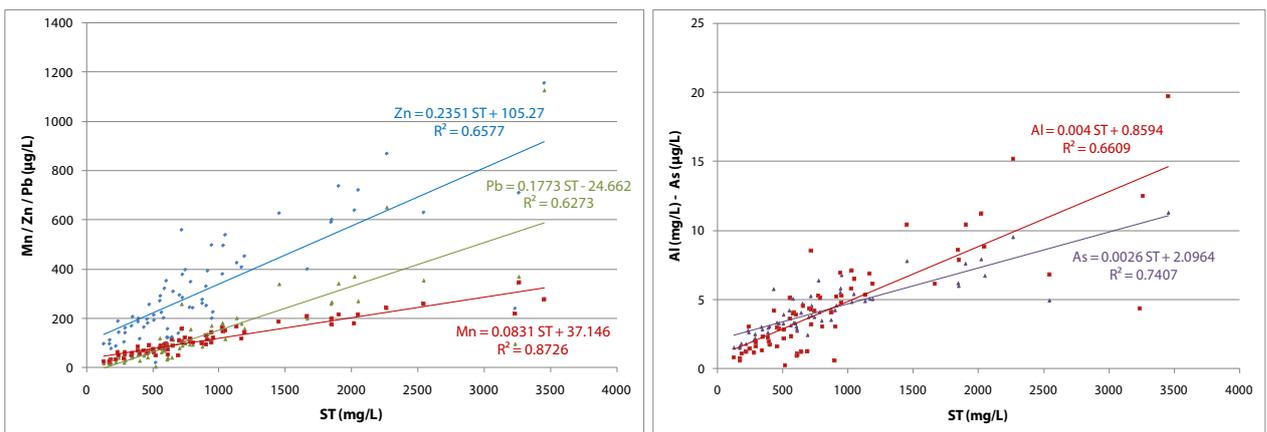


Figura 7-62. Relación entre los ST y los metales manganeso, plomo, zinc, arsénico y aluminio en tiempo de lluvia.

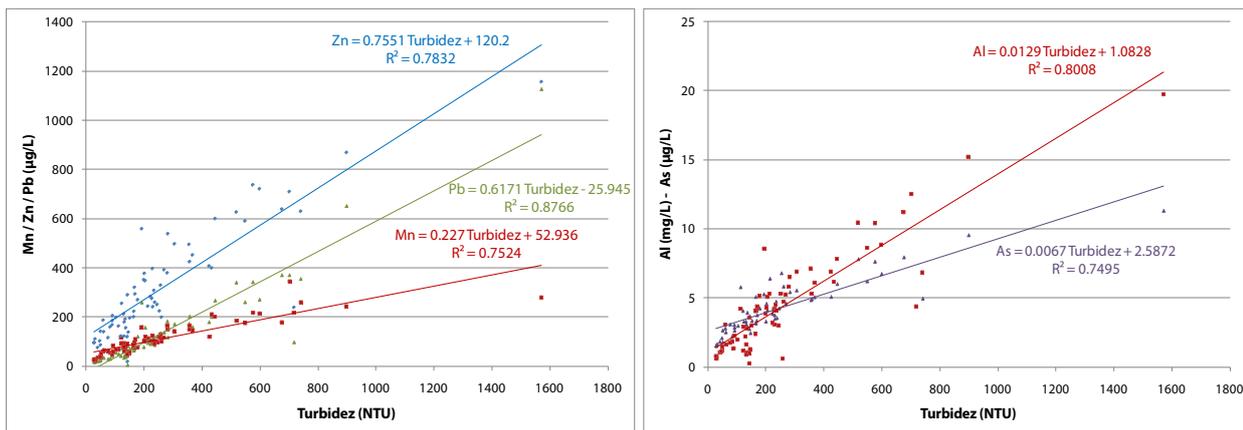


Figura 7-63. Relación entre la turbidez y los metales manganeso, plomo, zinc, arsénico y aluminio en tiempo de lluvia.

7.4.1.2. Análisis de correlación de parámetros característicos de los sucesos muestreados

Además del análisis de correlaciones realizado sobre los resultados de las determinaciones de los contaminantes en las muestras de tiempo de lluvia se puede realizar un análisis integrado de una serie de parámetros característicos (concentraciones máximas y medias de suceso, cargas movilizadas) que aportan información adicional sobre las tendencias y valores que cabe esperar en un suceso de lluvia para un determinado contaminante.

Se han determinado las matrices de correlación de las concentraciones máximas de suceso, las concentraciones medias de suceso y las cargas movilizadas para los contaminantes seleccionados medidos en los sucesos. A continuación, se muestran los resultados de las matrices de correlación obtenidas que sirven para predecir qué parámetros característicos de suceso de unos contaminantes pueden formularse a partir de otros.

Tabla 7-14. Matriz de correlación de concentraciones máximas de suceso en tiempo de lluvia.

CONCENTRACIONES MÁXIMAS DE SUCESO																						
	DQO	DQO_soluble	DBO ₅	N_total	N_amoniacal	P_total	SS	SSV	SD	ST	Turbidez	Cond_20°	pH	CF	Al	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	As
DQO	1.00	0.91	0.96	0.80	0.17	0.97	0.92	0.92	0.61	0.93	0.71	0.02	-0.19	0.50	0.78	0.51	0.56	0.96	0.72	0.61	0.80	0.57
DQO_soluble	0.91	1.00	0.87	0.73	0.13	0.87	0.86	0.86	0.48	0.86	0.73	0.00	0.02	0.40	0.77	0.22	0.40	0.85	0.44	0.67	0.78	0.51
DBO ₅	0.96	0.87	1.00	0.75	0.12	0.97	0.97	0.98	0.57	0.98	0.85	0.07	-0.25	0.56	0.89	0.65	0.50	0.97	0.69	0.77	0.91	0.73
N_total	0.80	0.73	0.75	1.00	0.66	0.84	0.71	0.71	0.86	0.76	0.44	0.44	0.04	0.67	0.55	0.15	0.59	0.85	0.58	0.36	0.53	0.31
N_amoniacal	0.17	0.13	0.12	0.66	1.00	0.28	0.09	0.10	0.57	0.16	-0.07	0.83	0.23	0.35	0.09	-0.32	0.49	0.27	0.13	-0.07	0.04	-0.18
P_total	0.97	0.87	0.97	0.84	0.28	1.00	0.93	0.94	0.60	0.95	0.76	0.21	-0.09	0.51	0.82	0.55	0.57	0.96	0.71	0.68	0.85	0.61
SS	0.92	0.86	0.97	0.71	0.09	0.93	1.00	1.00	0.52	1.00	0.91	0.05	-0.15	0.57	0.92	0.68	0.34	0.94	0.62	0.85	0.90	0.78
SSV	0.92	0.86	0.98	0.71	0.10	0.94	1.00	1.00	0.51	1.00	0.91	0.06	-0.13	0.55	0.92	0.67	0.34	0.95	0.63	0.85	0.91	0.77
SD	0.61	0.48	0.57	0.86	0.57	0.60	0.52	0.51	1.00	0.59	0.24	0.36	-0.30	0.89	0.36	0.19	0.62	0.68	0.45	0.17	0.30	0.33
ST	0.93	0.86	0.98	0.76	0.16	0.95	1.00	1.00	0.59	1.00	0.89	0.10	-0.16	0.62	0.90	0.65	0.39	0.96	0.62	0.82	0.89	0.78
Turbidez	0.71	0.73	0.85	0.44	-0.07	0.76	0.91	0.91	0.24	0.89	1.00	0.05	-0.11	0.43	0.95	0.66	0.15	0.75	0.37	0.99	0.93	0.87
Cond_20°	0.02	0.00	0.07	0.44	0.83	0.21	0.05	0.06	0.36	0.10	0.05	1.00	0.22	0.26	0.18	-0.18	0.48	0.12	0.02	0.10	0.17	-0.05
pH	-0.19	0.02	-0.25	0.04	0.23	-0.09	-0.15	-0.13	-0.30	-0.16	-0.11	0.22	1.00	-0.42	-0.22	-0.52	-0.46	-0.19	###	-0.12	-0.20	-0.49
CF	0.50	0.40	0.56	0.67	0.35	0.51	0.57	0.55	0.89	0.62	0.43	0.26	-0.42	1.00	0.46	0.37	0.42	0.62	0.25	0.39	0.36	0.65
Al	0.78	0.77	0.89	0.55	0.09	0.82	0.92	0.92	0.36	0.90	0.95	0.18	-0.22	0.46	1.00	0.76	0.36	0.83	0.51	0.94	0.98	0.93
Cr	0.51	0.22	0.65	0.15	-0.32	0.55	0.68	0.67	0.19	0.65	0.66	-0.18	-0.52	0.37	0.76	1.00	0.11	0.63	0.70	0.65	0.73	0.79
Cu	0.56	0.40	0.50	0.59	0.49	0.57	0.34	0.34	0.62	0.39	0.15	0.48	-0.46	0.42	0.36	0.11	1.00	0.50	0.40	0.12	0.39	0.19
Mn	0.96	0.85	0.97	0.85	0.27	0.96	0.94	0.95	0.68	0.96	0.75	0.12	-0.19	0.62	0.83	0.63	0.50	1.00	0.73	0.67	0.82	0.69
Ni	0.72	0.44	0.69	0.58	0.13	0.71	0.62	0.63	0.45	0.62	0.37	0.02	-0.21	0.25	0.51	0.70	0.40	0.73	1.00	0.27	0.55	0.22
Pb	0.61	0.67	0.77	0.36	-0.07	0.68	0.85	0.85	0.17	0.82	0.99	0.10	-0.12	0.39	0.94	0.65	0.12	0.67	0.27	1.00	0.92	0.90
Zn	0.80	0.78	0.91	0.53	0.04	0.85	0.90	0.91	0.30	0.89	0.93	0.17	-0.20	0.36	0.98	0.73	0.39	0.82	0.55	0.92	1.00	0.87
As	0.57	0.51	0.73	0.31	-0.18	0.61	0.78	0.77	0.33	0.78	0.87	-0.05	-0.49	0.65	0.93	0.79	0.19	0.69	0.22	0.90	0.87	1.00

Tabla 7-15. Matriz de correlación de concentraciones medias de suceso en tiempo de lluvia.

		CMS																		
	DQO	DQO_soluble	DBO ₅	N_total	N_amoniacal	P_total	SS	SSV	SD	ST	Turbidez	CF	Al	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	As
DQO	1.00	0.75	0.99	0.81	0.44	0.93	0.98	0.98	0.78	0.98	0.89	0.82	0.64	0.95	0.94	0.98	0.83	0.64	0.64	0.85
DQO_soluble	0.75	1.00	0.77	0.81	0.66	0.77	0.74	0.75	0.81	0.80	0.80	0.80	0.52	0.20	0.67	0.75	0.40	0.60	0.50	0.54
DBO ₅	0.99	0.77	1.00	0.84	0.49	0.95	0.98	0.98	0.81	0.99	0.89	0.85	0.62	0.83	0.93	0.98	0.79	0.64	0.63	0.78
N_total	0.81	0.81	0.84	1.00	0.88	0.96	0.75	0.76	0.92	0.85	0.67	0.83	0.32	-0.32	0.86	0.82	0.53	0.39	0.35	0.12
N_amoniacal	0.44	0.66	0.49	0.88	1.00	0.72	0.35	0.37	0.79	0.51	0.32	0.58	-0.01	-0.49	0.54	0.46	0.18	0.06	0.02	-0.07
P_total	0.93	0.77	0.95	0.96	0.72	1.00	0.88	0.89	0.90	0.95	0.79	0.85	0.48	0.18	0.94	0.94	0.70	0.52	0.51	0.45
SS	0.98	0.74	0.98	0.75	0.35	0.88	1.00	1.00	0.70	0.98	0.94	0.84	0.71	0.86	0.89	0.97	0.77	0.74	0.69	0.83
SSV	0.98	0.75	0.98	0.76	0.37	0.89	1.00	1.00	0.72	0.99	0.94	0.84	0.73	0.86	0.89	0.98	0.77	0.76	0.71	0.86
SD	0.78	0.81	0.81	0.92	0.79	0.90	0.70	0.72	1.00	0.81	0.65	0.88	0.22	-0.20	0.83	0.75	0.43	0.32	0.25	0.19
ST	0.98	0.80	0.99	0.85	0.51	0.95	0.98	0.99	0.81	1.00	0.93	0.89	0.65	0.75	0.91	0.98	0.73	0.69	0.63	0.92
Turbidez	0.89	0.80	0.89	0.67	0.32	0.79	0.94	0.94	0.65	0.93	1.00	0.83	0.84	0.75	0.72	0.90	0.57	0.89	0.77	0.91
CF	0.82	0.80	0.85	0.83	0.58	0.85	0.84	0.84	0.88	0.89	0.83	1.00	0.40	0.15	0.78	0.79	0.38	0.56	0.35	0.58
Al	0.64	0.52	0.62	0.32	-0.01	0.48	0.71	0.73	0.22	0.65	0.84	0.40	1.00	0.86	0.43	0.72	0.51	0.96	0.96	0.84
Cr	0.95	0.20	0.83	-0.32	-0.49	0.18	0.86	0.86	-0.20	0.75	0.75	0.15	0.86	1.00	0.16	0.85	0.54	0.70	0.83	0.80
Cu	0.94	0.67	0.93	0.86	0.54	0.94	0.89	0.89	0.83	0.91	0.72	0.78	0.43	0.16	1.00	0.93	0.82	0.43	0.49	0.07
Mn	0.98	0.75	0.98	0.82	0.46	0.94	0.97	0.98	0.75	0.98	0.90	0.79	0.72	0.85	0.93	1.00	0.81	0.71	0.74	0.82
Ni	0.83	0.40	0.79	0.53	0.18	0.70	0.77	0.77	0.43	0.73	0.57	0.38	0.51	0.54	0.82	0.81	1.00	0.38	0.58	0.02
Pb	0.64	0.60	0.64	0.39	0.06	0.52	0.74	0.76	0.32	0.69	0.89	0.56	0.96	0.70	0.43	0.71	0.38	1.00	0.90	0.80
Zn	0.64	0.50	0.63	0.35	0.02	0.51	0.69	0.71	0.25	0.63	0.77	0.35	0.96	0.83	0.49	0.74	0.58	0.90	1.00	0.69
As	0.85	0.54	0.78	0.12	-0.07	0.45	0.83	0.86	0.19	0.92	0.91	0.58	0.84	0.80	0.07	0.82	0.02	0.80	0.69	1.00

Tabla 7-16. Matriz de correlación de cargas movilizadas por sucesos en tiempo de lluvia.

		CARGAS MOVILIZADAS																	
	DQO	DQO_soluble	DBO ₅	N_total	N_amoniacal	P_total	SS	SSV	SD	ST	Al	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	As	
DQO	1.00	0.76	0.98	0.89	0.14	0.98	0.93	0.94	0.69	0.96	0.88	0.91	0.74	0.94	0.81	0.80	0.90	0.96	
DQO_soluble	0.76	1.00	0.74	0.88	0.20	0.69	0.85	0.84	0.41	0.81	0.82	0.53	0.37	0.79	0.63	0.82	0.80	0.78	
DBO ₅	0.98	0.74	1.00	0.88	0.13	0.95	0.95	0.96	0.66	0.98	0.86	0.91	0.72	0.89	0.71	0.82	0.85	0.96	
N_total	0.89	0.88	0.88	1.00	0.44	0.89	0.89	0.89	0.59	0.89	0.82	0.62	0.64	0.88	0.77	0.78	0.84	0.90	
N_amoniacal	0.14	0.20	0.13	0.44	1.00	0.25	0.06	0.10	0.22	0.11	0.11	-0.65	0.23	0.15	0.23	0.08	0.18	-0.29	
P_total	0.98	0.69	0.95	0.89	0.25	1.00	0.89	0.90	0.72	0.93	0.87	0.84	0.75	0.95	0.84	0.77	0.91	0.94	
SS	0.93	0.85	0.95	0.89	0.06	0.89	1.00	1.00	0.50	0.99	0.93	0.85	0.53	0.90	0.68	0.92	0.88	0.96	
SSV	0.94	0.84	0.96	0.89	0.10	0.90	1.00	1.00	0.52	0.99	0.93	0.86	0.53	0.89	0.66	0.93	0.87	0.96	
SD	0.69	0.41	0.66	0.59	0.22	0.72	0.50	0.52	1.00	0.60	0.45	0.50	0.75	0.65	0.56	0.41	0.57	0.63	
ST	0.96	0.81	0.98	0.89	0.11	0.93	0.99	0.99	0.60	1.00	0.92	0.88	0.60	0.91	0.70	0.91	0.88	0.99	
Al	0.88	0.82	0.86	0.82	0.11	0.87	0.93	0.93	0.45	0.92	1.00	0.87	0.39	0.91	0.71	0.96	0.97	0.96	
Cr	0.91	0.53	0.91	0.62	-0.65	0.84	0.85	0.86	0.50	0.88	0.87	1.00	0.64	0.78	0.58	0.76	0.84	0.87	
Cu	0.74	0.37	0.72	0.64	0.23	0.75	0.53	0.53	0.75	0.60	0.39	0.64	1.00	0.59	0.60	0.25	0.50	0.61	
Mn	0.94	0.79	0.89	0.88	0.15	0.95	0.90	0.89	0.65	0.91	0.91	0.78	0.59	1.00	0.89	0.83	0.96	0.95	
Ni	0.81	0.63	0.71	0.77	0.23	0.84	0.68	0.66	0.56	0.70	0.71	0.58	0.60	0.89	1.00	0.53	0.84	0.74	
Pb	0.80	0.82	0.82	0.78	0.08	0.77	0.92	0.93	0.41	0.91	0.96	0.76	0.25	0.83	0.53	1.00	0.87	0.90	
Zn	0.90	0.80	0.85	0.84	0.18	0.91	0.88	0.87	0.57	0.88	0.97	0.84	0.50	0.96	0.84	0.87	1.00	0.96	
As	0.96	0.78	0.96	0.90	-0.29	0.94	0.96	0.96	0.63	0.99	0.96	0.87	0.61	0.95	0.74	0.90	0.96	1.00	

En las tablas anteriores se confirman tendencias ya comentadas en el apartado anterior de este capítulo que se resumen brevemente:

- ✓ El N amoniacal, conductividad y pH son los parámetros que presentan peor correlación con el resto de contaminantes.
- ✓ La DQO, DBO₅, N total, P total, SS, SSV, ST y turbidez correlacionan bien entre sí.
- ✓ Los parámetros básicos con los que los metales tienen una correlación menor son la DQO soluble, N amoniacal, conductividad, pH y coliformes fecales.
- ✓ Los metales, en general, correlacionan bien entre sí, el Cu que es el que menos correlaciona con el resto.

Se ha realizado el análisis de regresión lineal simple entre aquellos parámetros en los que se observa una gran correlación con el objetivo de poder predecir el valor de uno en función del valor de otro. Al hacer este análisis se ha obligado a que los términos independientes de las ecuaciones de regresión lineal fuesen cero. Se han obtenido buenos

resultados para la mayoría de los parámetros seleccionados. En la siguiente tabla se muestran algunos resultados del análisis y posteriormente se presentan gráficamente.

Tabla 7-17. Ecuaciones de regresión lineal simple para sucesos en tiempo de lluvia.

Ecuación de regresión lineal simple	R²
CMAX_SS = 2.4859 CMAX_turbidez	0.8142
CMAX_SSV = 2.0723 CMAX_turbidez	0.8121
CMAX_AI = 0.014 CMAX_turbidez	0.8676
CMAX_Pb = 0.6232 CMAX_turbidez	0.9355
CMAX_Zn = 0.8762 CMAX_turbidez	0.7626
CMAX_DQO = 1.3508 CMS_SS	0.6941
CMAX_DBO ₅ = 0.7778 CMAX_SS	0.867
CMAX_Ptotal = 0.0104 CMAX_SS	0.6558
CMAX_SSV = 0.8341 CMAX_SS	0.9988
CMAX_ST = 1.1722 CMAX_SS	0.9528
CMAX_Mn = 0.1161 CMAX_SS	0.5775
CMAX_DBO ₅ = 0.9322 CMAX_SSV	0.8647
CMAX_Namoniaca = 0.054 CMAX_Cd	0.694
CMS_SS = 2.51 CMS_turbidez	0.8674
CMS_SSV = 1.9945 CMS_turbidez	0.8799
CMS_ST = 3.6308 CMS_turbidez	0.8564
CMS_DQO = 1.7169 CMS_SS	0.9312
CMS_DBO ₅ = 0.94 CMS_SS	0.9388
CMS_SSV = 0.7926 CMS_SS	0.9965
CMS_ST = 1.4311 CMS_SS	0.9335
CMS_DQO = 2.1664 CMS_SSV	0.9363
CMS_DBO ₅ = 1.1866 CMS_SSV	0.9466
CMS_ST = 1.8072 CMS_SSV	0.9458
CMS_Ntotal = 5.9589 CMS_Ptotal	0.9004
CMS_Ptotal = 0.01 CMS_ST	0.8599
CMS_Pb = 30.255 CMS_AI	0.8787
CMS_Zn = 68.315 CMS_AI	0.6802
CMOV_DQO = 1.5656 CMOV_SS	0.8371
CMOV_DBO ₅ = 0.7967 CMOV_SS	0.8771

$CMOV_{SSV} = 0.7838 CMOV_{SS}$	0.993
$CMOV_{ST} = 1.2754 CMOV_{SS}$	0.9638
$CMOV_{Al} = 8.0372 CMOV_{SS}$	0.8526
$CMOV_{Pb} = 0.2408 CMOV_{SS}$	0.805
$CMOV_{As} = 0.0072 CMOV_{SS}$	0.8965
$CMOV_{DBO_5} = 1.0175 CMOV_{SSV}$	0.8952
$CMOV_{Ptotal} = 0.0091 CMOV_{ST}$	0.8549
$CMOV_{Zn} = 0.0716 CMOV_{Al}$	0.9288
$CMOV_{Mn} = 0.2855 CMOV_{Zn}$	0.8622

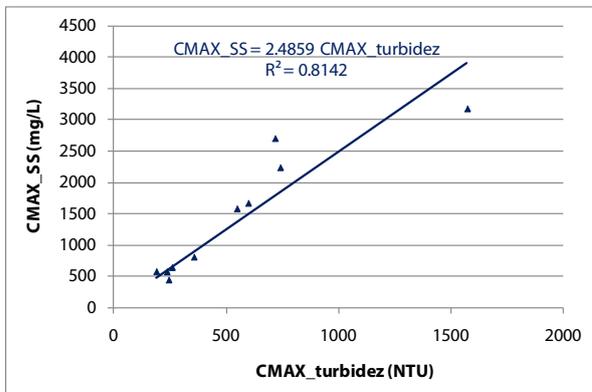


Figura 7-64. Relación entre la concentración máxima de suceso de turbidez y la de los SS.

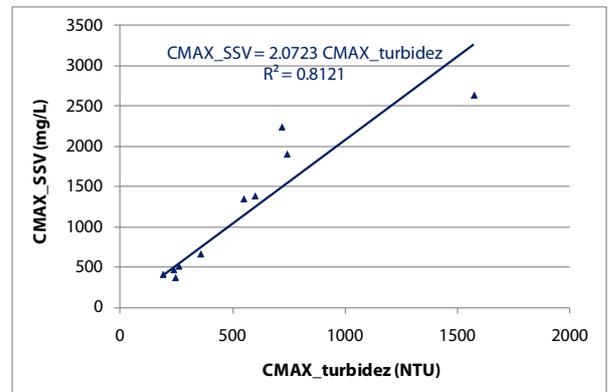


Figura 7-65. Relación entre la concentración máxima de suceso de turbidez y la de los SSV.

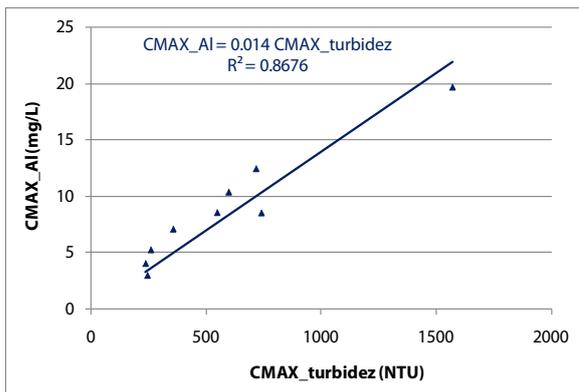


Figura 7-66. Relación entre la concentración máxima de suceso de turbidez y la de aluminio.

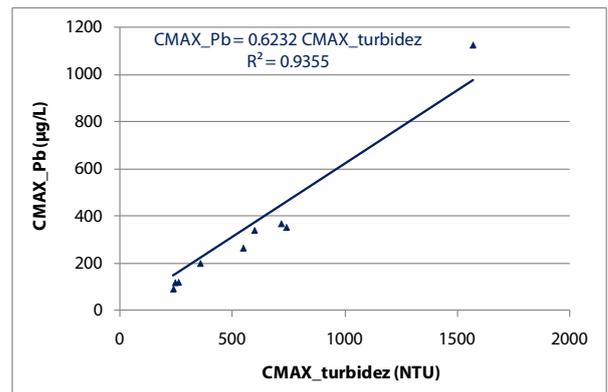


Figura 7-67. Relación entre la concentración máxima de suceso de turbidez y la de plomo.

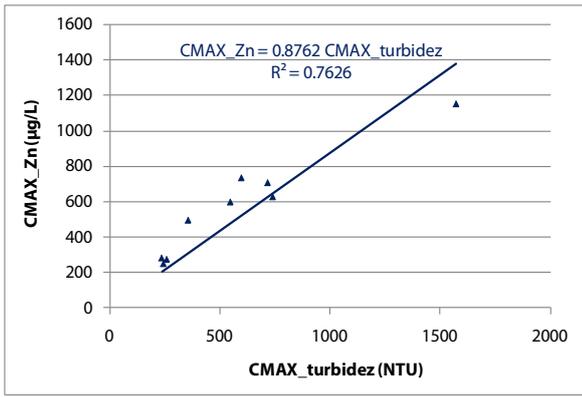


Figura 7-68. Relación entre la concentración máxima de suceso de turbidez y la de zinc.

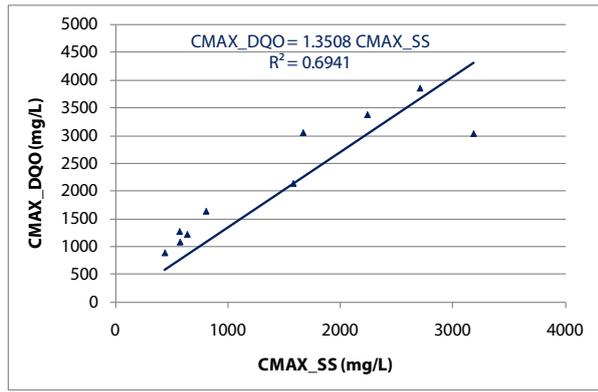


Figura 7-69. Relación entre la concentración máxima de suceso de SS y la de DQO.

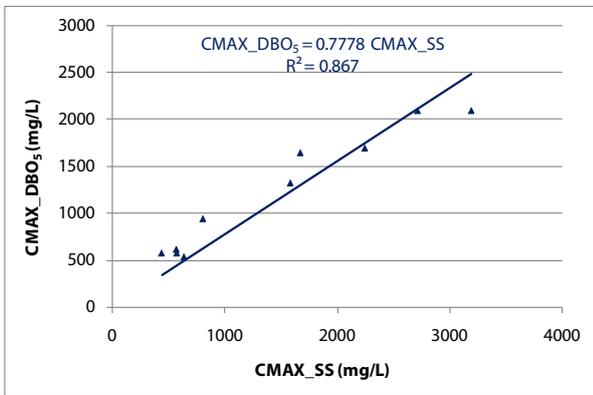


Figura 7-70. Relación entre la concentración máxima de suceso de SS y la de DBO5.

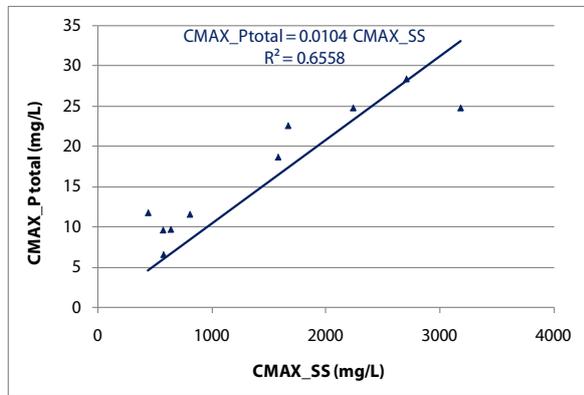


Figura 7-71. Relación entre la concentración máxima de suceso de SS y la de P total.

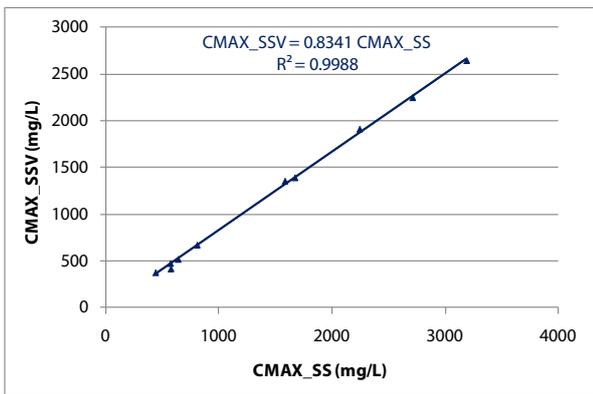


Figura 7-72. Relación entre la concentración máxima de suceso de SS y la de SSV.

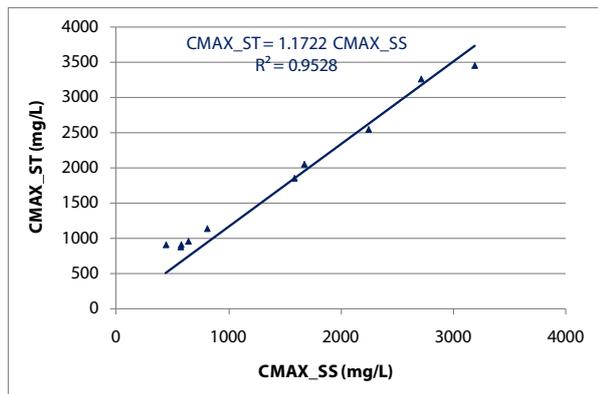


Figura 7-73. Relación entre la concentración máxima de suceso de SS y la de ST.

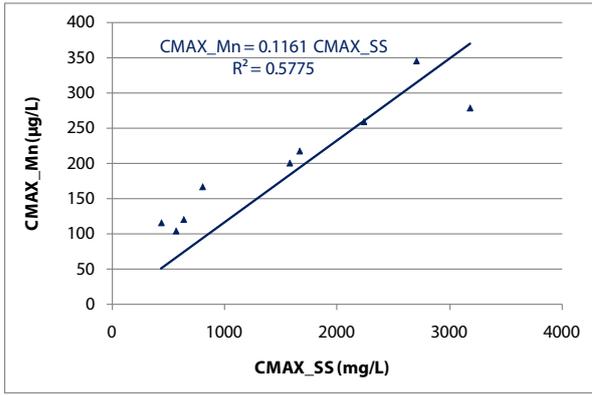


Figura 7-74. Relación entre la concentración máxima de suceso de SS y la de manganeso.

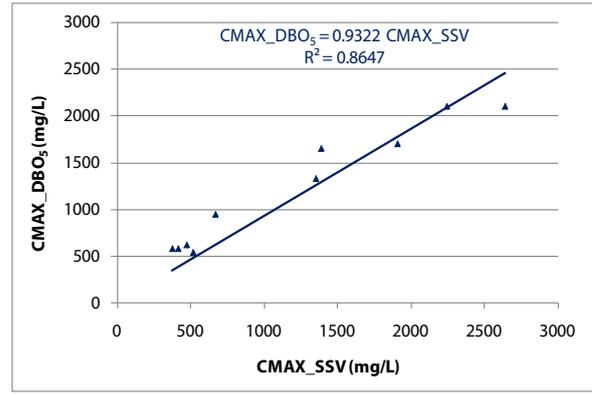


Figura 7-75. Relación entre la concentración máxima de suceso de SSV y la de DBO5.

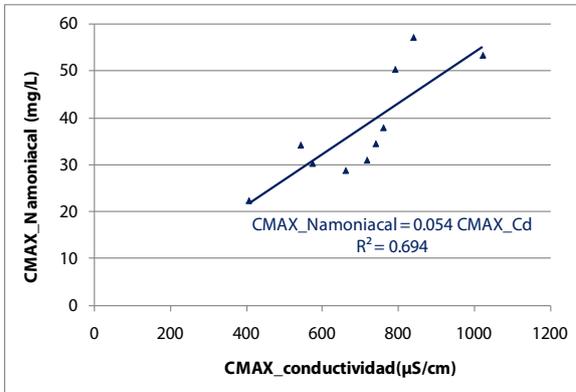


Figura 7-76. Relación entre la concentración máxima de suceso de conductividad y la de N amoniacal.

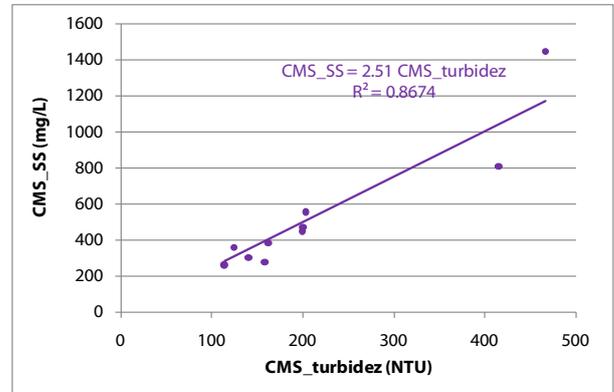


Figura 7-77. Relación entre la concentración media de suceso de turbidez y la de SS.

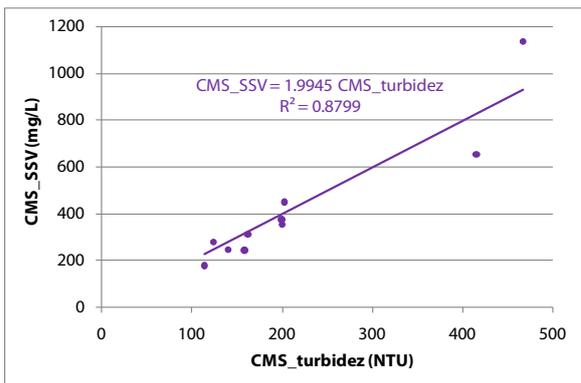


Figura 7-78. Relación entre la concentración media de suceso de turbidez y la de SSV.

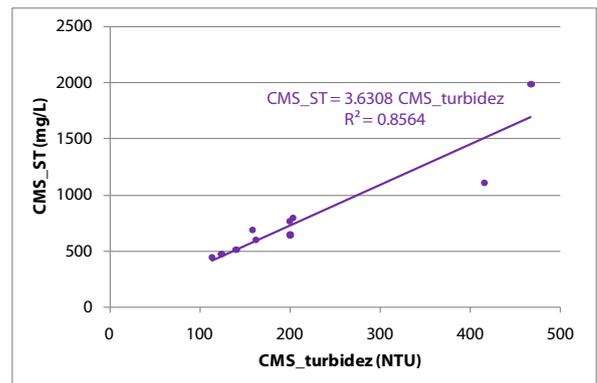


Figura 7-79. Relación entre la concentración media de suceso de turbidez y la de ST.

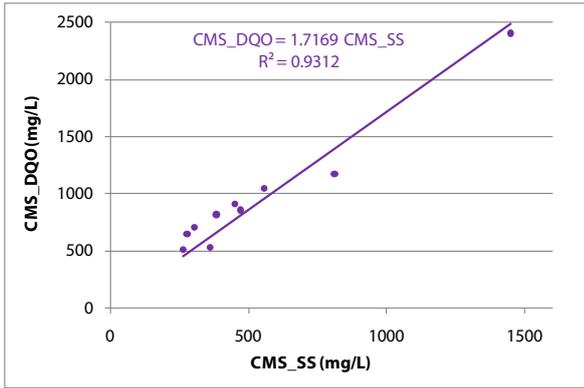


Figura 7-80. Relación entre la concentración media de suceso de SS y la de DQO.

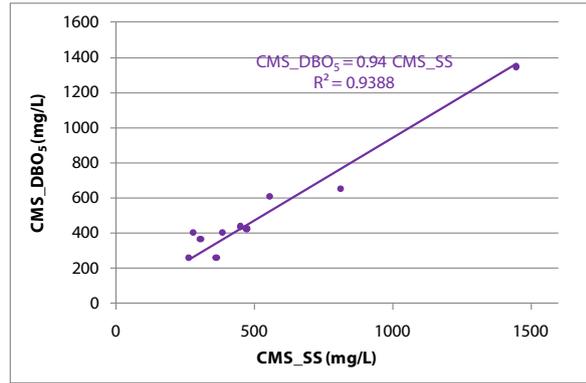


Figura 7-81. Relación entre la concentración media de suceso de SS y la de DBO5.

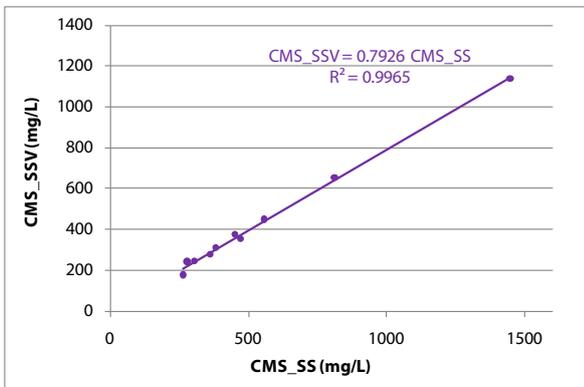


Figura 7-82. Relación entre la concentración media de suceso de SS y la de SSV.

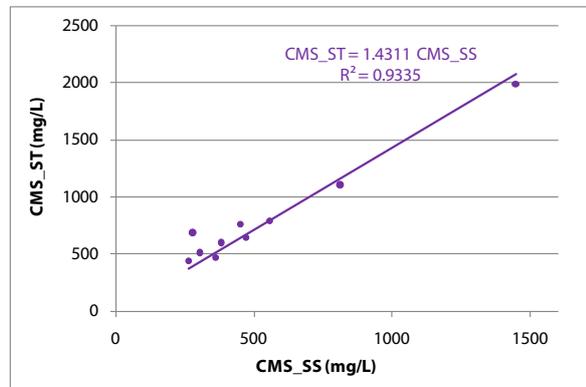


Figura 7-83. Relación entre la concentración media de suceso de SS y la de ST.

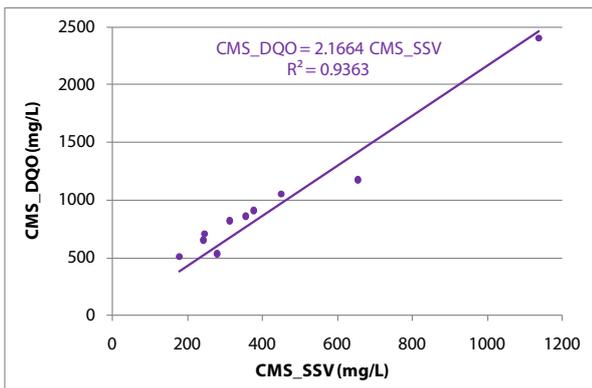


Figura 7-84. Relación entre la concentración media de suceso de SSV y la de DQO.

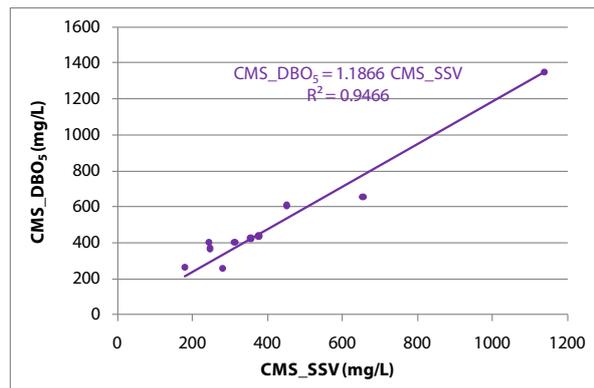


Figura 7-85. Relación entre la concentración media de suceso de SSV y la de DBO5.

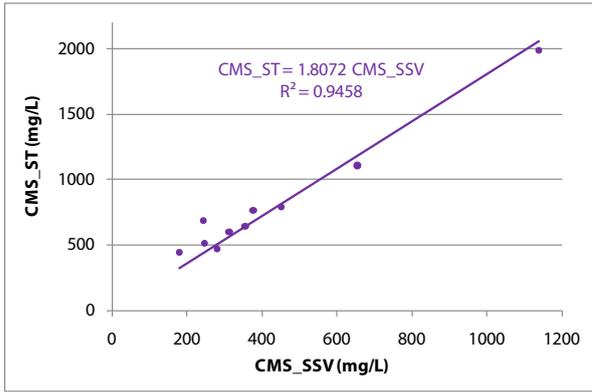


Figura 7-86. Relación entre la concentración media de suceso de SSV y la de ST.

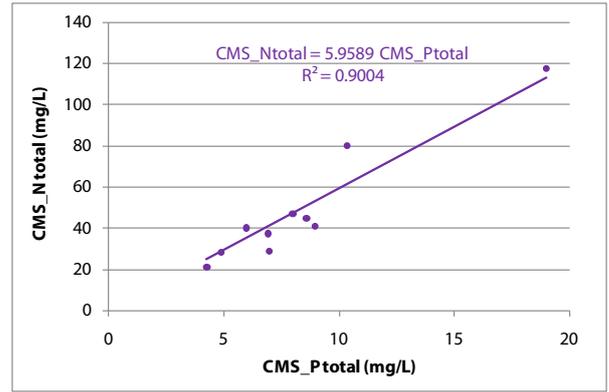


Figura 7-87. Relación entre la concentración media de suceso de P total y la de N total.

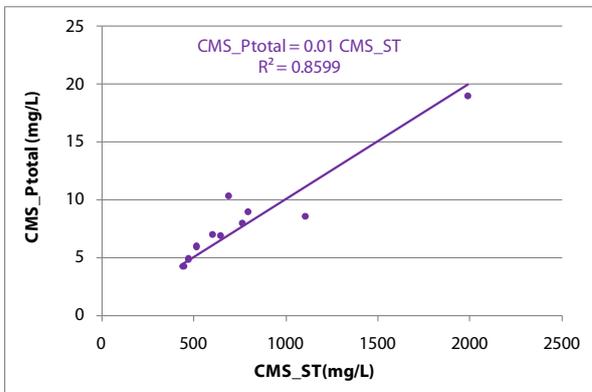


Figura 7-88. Relación entre la concentración media de suceso de ST y la de P total.

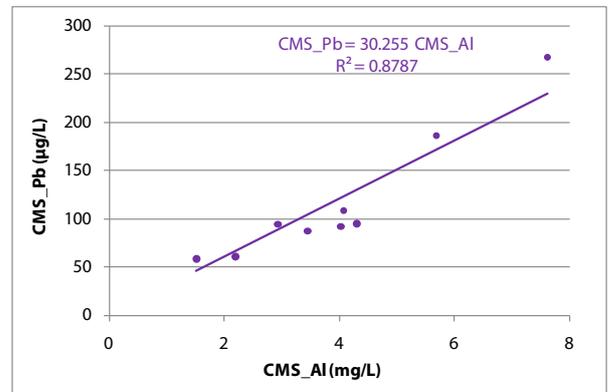


Figura 7-89. Relación entre la concentración media de suceso de aluminio y la de plomo.

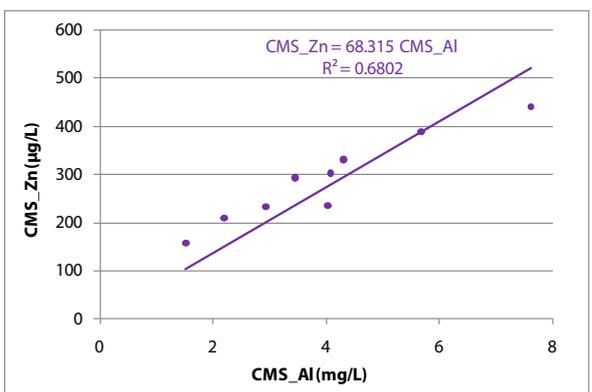


Figura 7-90. Relación entre la concentración media de suceso de aluminio y la de zinc.

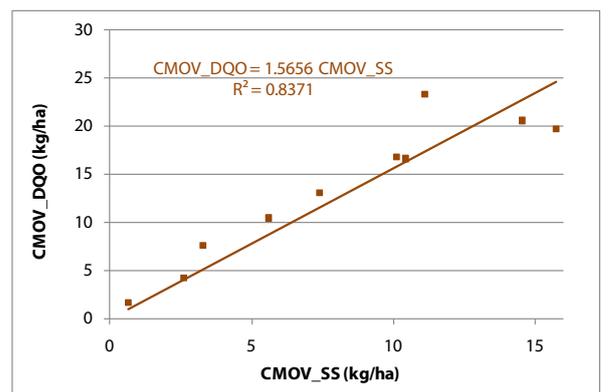


Figura 7-91. Relación entre la carga movilizada por suceso de SS y la de DQO.

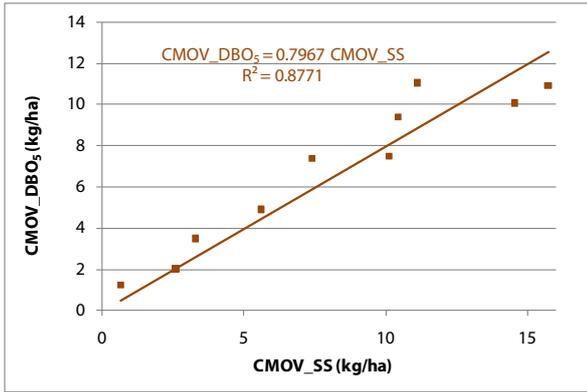


Figura 7-92. Relación entre la carga movilizada por suceso de SS y la de DBO5.

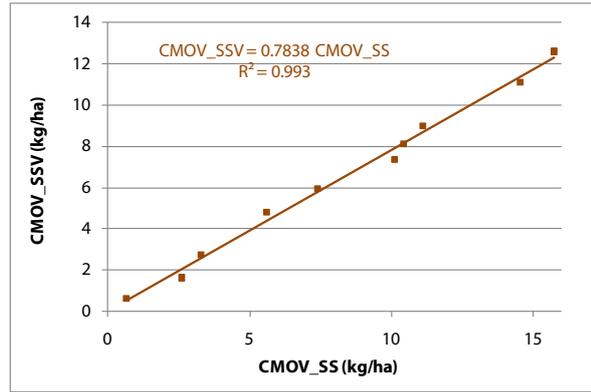


Figura 7-93. Relación entre la carga movilizada por suceso de SS y la de SSV.

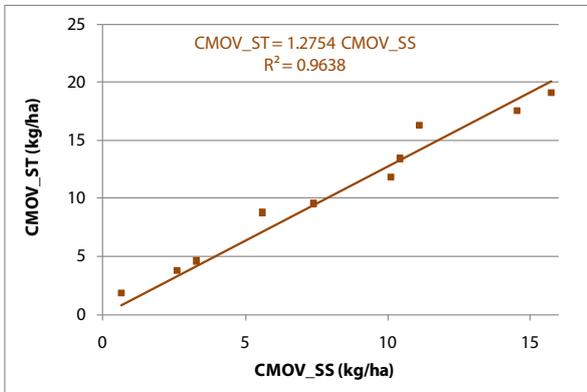


Figura 7-94. Relación entre la carga movilizada por suceso de SS y la de ST.

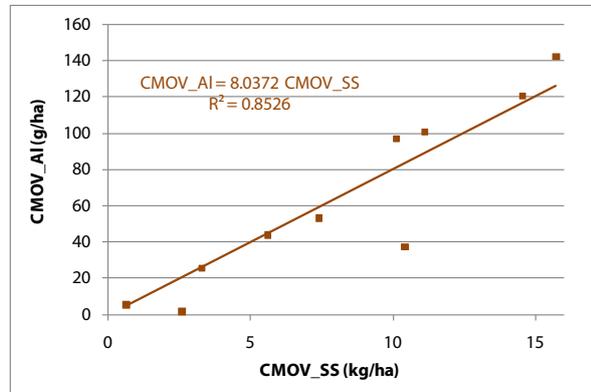


Figura 7-95. Relación entre la carga movilizada por suceso de SS y la de aluminio.

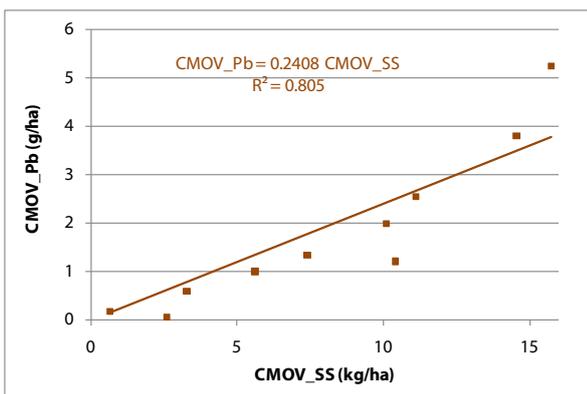


Figura 7-96. Relación entre la carga movilizada por suceso de SS y la de plomo.

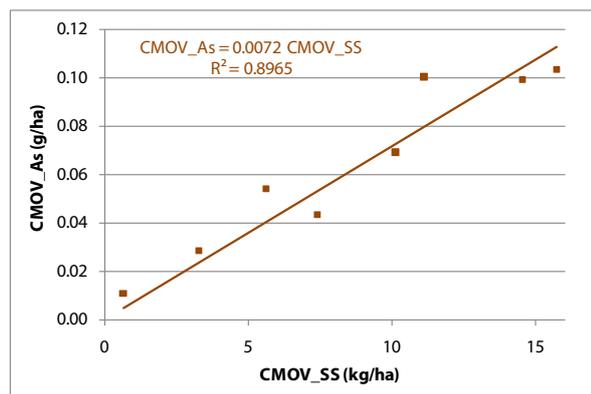


Figura 7-97. Relación entre la carga movilizada por suceso de SS y la de arsénico.

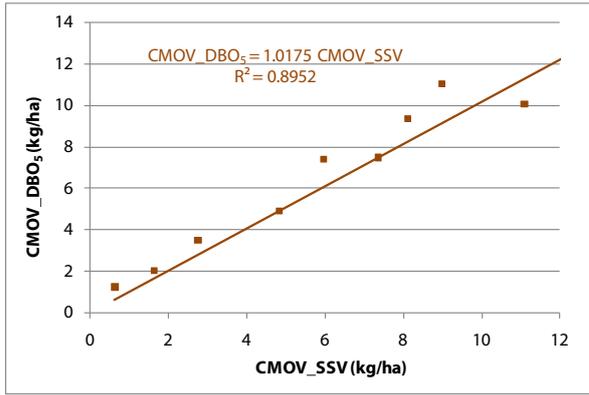


Figura 7-98. Relación entre la carga movilizada por suceso de SSV y la de DBO5.

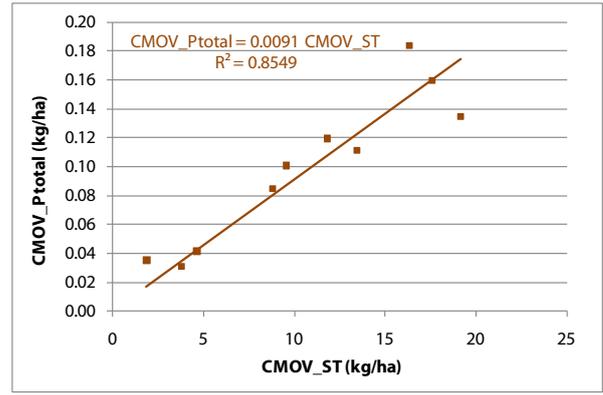


Figura 7-99. Relación entre la carga movilizada por suceso de ST y la de P total.

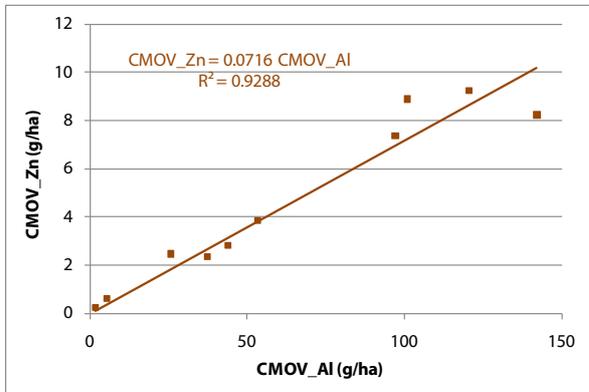


Figura 7-100. Relación entre la carga movilizada por suceso de aluminio y la de zinc.

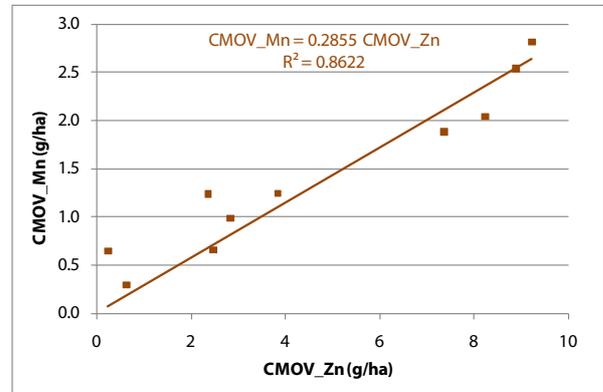


Figura 7-101. Relación entre la carga movilizada por suceso de zinc y la de manganeso.

El análisis de regresión lineal simple ha dado muy buenos resultados para predecir parámetros de suceso de la mayoría de los contaminantes estudiados a partir de otros. No obstante algunos contaminantes no han podido relacionarse con claridad mediante relaciones lineales simples por lo que también se elaboró un análisis de regresión lineal multivariable para poder predecir parámetros de suceso de la DQO soluble, N amoniacal y coliformes fecales (CF) a partir del resto de contaminantes básicos estudiados.

El análisis de regresión múltiple se realizó utilizando el método "Stepwise" del programa MINITAB. Este método elimina y añade variables al modelo de regresión con el propósito de identificar el grupo de variables útiles para la predicción.

El primer paso en la regresión "Stepwise" es calcular el estadístico F y el valor p para cada variable en el modelo. Si el modelo contiene j variables, entonces F para cualquier variable X_r se puede calcular como:

$$F_{(1, n-j-1)} = \frac{SSE_{\{j-X_r\}} - SSE_j}{MSE_j}$$

donde n es el número de observaciones, $SSE_{\{j-X_r\}}$ es el error suma de cuadrados para el modelo después de eliminar la variable X_r , y SSE_j y MSE_j son el error suma de cuadrados y

el error cuadrático medio (respectivamente) para el modelo antes de eliminar la variable X_r .

Si el valor de p , para cualquiera de las variables, es superior que un cierto valor alfa de salida, entonces la variable que tenga el valor p mayor, se elimina del modelo; se calcula la ecuación de regresión, se imprimen los resultados y se inicia el siguiente paso.

Si no se puede eliminar ninguna variable el procedimiento intenta añadir una. Se calculan el estadístico F y el valor de p para todas las variables que están fuera del modelo. Si el modelo contiene j variables, entonces F para cualquier variable X_a se puede calcular como:

$$F_{(1, n-j)} = \frac{SSE_j - SSE_{\{j+X_a\}}}{MSE_{\{j+X_a\}}}$$

donde n es el número de observaciones, SSE_j se calcula antes de añadir X_a al modelo y $SSE_{\{j+X_a\}}$ y $MSE_{\{j+X_a\}}$ se calculan después de añadir X_a al modelo.

Si el valor de p correspondiente al valor de F de cualquier variable es menor que el alfa de entrada, la variable con el valor de p más pequeño se añade al modelo. Después se calcula la ecuación de regresión se muestran los resultados en la pantalla y se ejecuta un nuevo paso. Cuando no pueden entrar ni salir más variables se termina el procedimiento Stepwise.

Para ejecutar este método es necesario introducir la variable que se quiere determinar (variable respuesta), el conjunto de variables en función de las cuales se quiere expresar (variables predictoras) y los valores de alfa de entrada y de salida, y se obtienen, como resultado, la ecuación de regresión lineal multivariable y el valor de coeficiente de correlación.

Las variables respuesta fueron $C_{MAX_DQO_sol}$, $C_{MAX_Namoniaca}$, C_{MAX_CF} , $C_{MS_DQO_sol}$, $C_{MS_Namoniaca}$, C_{MS_CF} , $C_{MOV_DQO_sol}$, $C_{MOV_Namoniaca}$, C_{MOV_CF}

En la siguiente tabla se muestran las ecuaciones lineales multivariables obtenidas al aplicar el método de Stepwise.

Tabla 7-18. Ecuaciones de regresión lineal multivariable para sucesos en tiempo de lluvia.

Ecuación de regresión lineal multivariable	R²
$C_{MAX_DQO_sol} = 0.092 C_{MAX_DQO} + 101.9$	0.8281
$C_{MAX_Namoniaca} = 0.0456 C_{MAX_Cd} + 0.118 C_{MAX_Ntotal} - 4.45$	0.8028
$C_{MAX_CF} = 27762773 C_{MAX_SD} - 47622613$	0.7903
$C_{MS_DQO_sol} = 1.04 C_{MS_Ntotal} + 0.23 C_{MS_turbidez} + 44.52$	0.7764
$C_{MS_Namoniaca} = 0.683 C_{MS_Ntotal} - 0.0276 C_{MS_SS} + 2.8722$	0.9835
$C_{MS_CF} = 200293 C_{MS_ST} - 108276 C_{MS_DQO} - 21072693$	0.8714
$C_{MOV_DQO_sol} = 3.07 C_{MOV_Ntotal} - 0.2117$	0.7708

En conclusión, se ponen de manifiesto las correlaciones entre los parámetros de contaminación en tiempo de lluvia y se observa que un grupo mayoritario de ellos presenta claramente un comportamiento muy similar. Con el objetivo de presentar de una manera más gráfica el comportamiento de los contaminantes seleccionados en el siguiente apartado se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP).

7.4.2. Análisis de componentes principales

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible.

Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí.

Un aspecto clave en ACP es la interpretación de los factores, ya que ésta no viene dada a priori, sino que será deducida tras observar la relación de los factores con las variables iniciales (habrá, pues, que estudiar tanto el signo como la magnitud de las correlaciones).

Este tipo de análisis se ha realizado para las concentraciones máximas y medias de suceso de los contaminantes seleccionados en el programa de análisis estadístico MINITAB.

7.4.2.1. Concentraciones máximas de suceso (CMAX)

La salida que nos ofrece el Minitab es la siguiente:

Tabla 7-19. Análisis de componentes principales: CMAX de parámetros de contaminación seleccionados.

Eigenanalysis of the Correlation Matrix									
Eigenvalue	13.466	2.834	2.106	1.779	1.062	0.590	0.164	0.000	0.000
Proportion	0.612	0.129	0.096	0.081	0.048	0.027	0.007	0.000	0.000
Cumulative	0.612	0.741	0.837	0.917	0.966	0.993	1.000	1.000	1.000
Eigenvalue	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Proportion	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Cumulative	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Eigenvalue	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000					
Proportion	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000					
Cumulative	1.000	1.000	1.000	1.000					
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6			
DQO	0.246	-0.115	0.144	0.232	-0.069	-0.094			
DQO_soluble	0.217	-0.124	0.249	0.003	-0.367	-0.221			
DBO5	0.268	-0.031	0.039	0.101	-0.023	0.022			
N_total	0.171	0.107	0.492	0.151	0.142	-0.056			
N_amoniacal	-0.128	0.363	0.223	0.004	0.402	-0.468			
P_total	0.253	-0.001	0.178	0.186	0.050	0.052			
SS	0.269	-0.033	0.068	-0.070	0.059	0.033			
SSV	0.268	-0.038	0.077	-0.062	0.068	0.049			
SD	0.117	0.424	0.070	0.241	-0.169	0.462			
ST	0.269	-0.007	0.085	-0.061	0.046	0.019			
Turbidez	0.258	0.048	-0.011	-0.235	-0.000	0.005			
Cond_20°	-0.090	0.535	0.045	-0.043	0.248	0.081			
pH	-0.087	-0.088	0.563	-0.268	0.208	0.200			
CF	0.159	0.382	-0.098	-0.252	-0.161	0.357			
Al	0.259	0.046	-0.146	-0.155	-0.016	-0.101			
Cr	0.192	-0.015	-0.346	0.020	0.464	0.026			
Cu	0.054	0.302	-0.098	0.582	-0.209	-0.240			
Mn	0.262	-0.093	0.088	0.075	0.073	-0.069			
Ni	0.131	-0.261	-0.137	0.362	0.477	0.319			
Pb	0.246	0.093	-0.066	-0.292	-0.039	-0.038			
Zn	0.267	0.026	-0.111	-0.049	-0.045	-0.030			
As	0.223	0.152	-0.218	-0.168	0.103	-0.385			

En primer lugar aparecen los valores propios ("eigenvalue") de cada componente principal, y justo debajo la proporción de varianza explicada ("proportion") por cada uno de ellos y la varianza explicada acumulada ("cumulative").

Finalmente, aparecen las correlaciones de cada componente principal con cada parámetro de contaminación, esto ayuda a interpretar el comportamiento de los mismos. El objetivo

en este caso es aseverar que existe un grupo de contaminantes con la misma tendencia, por ello, tan solo se tendrán en cuenta las dos primeras componentes principales (PC1 y PC2), las cuales explican, aproximadamente, un 75% de la varianza. Observando la tabla se puede establecer la siguiente clasificación:

- Los parámetros con correlación positiva en la primera componente son todos excepto el N amoniacal, la conductividad y el pH.
- La mayor parte de los parámetros tienen una correlación positiva con la primera componente y el rango de correlación con la segunda oscila entre -0.15 y 0.15. Esta tendencia puede verse más claramente en la siguiente figura.

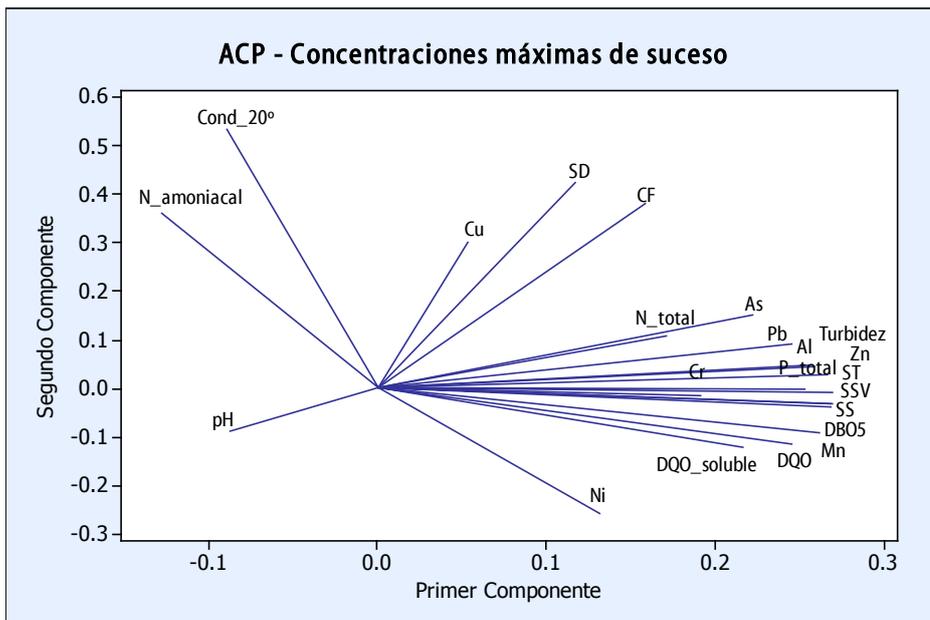


Figura 7-102. ACP de concentraciones máximas de suceso para los parámetros seleccionados.

Es destacable el comportamiento del N amoniacal, la conductividad y el pH cuya tendencia, como ya se había comprobado, es diferente al grupo de parámetros presentados en la parte derecha de la figura anterior.

7.4.2.2. Concentraciones medias de suceso (CMS)

El resultado que ofrece el Minitab para las CMS es el siguiente:

Tabla 7-20. Análisis de componentes principales: CMS de parámetros de contaminación seleccionados.

Eigenanalysis of the Correlation Matrix									
Eigenvalue	11.234	5.091	2.030	0.718	0.485	0.266	0.176	0.000	0.000
Proportion	0.562	0.255	0.101	0.036	0.024	0.013	0.009	0.000	0.000
Cumulative	0.562	0.816	0.918	0.954	0.978	0.991	1.000	1.000	1.000
Eigenvalue	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Proportion	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Cumulative	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6			
DQO	0.280	0.039	-0.191	-0.176	-0.085	-0.174			
DQO_soluble	0.129	-0.276	0.257	-0.443	-0.482	0.060			
DBO5	0.272	-0.056	-0.184	-0.113	0.097	-0.509			
N_total	-0.003	-0.424	-0.102	-0.107	0.281	0.187			
N_amoniacal	-0.075	-0.409	-0.119	-0.193	0.180	0.220			
P_total	0.126	-0.326	-0.342	0.025	0.294	-0.054			
SS	0.289	0.080	0.070	0.035	0.172	-0.042			
SSV	0.293	0.050	0.053	0.023	0.182	-0.049			

SD	0.017	-0.402	-0.098	0.065	-0.456	-0.359
ST	0.285	-0.113	-0.029	-0.021	0.165	0.106
Turbidez	0.289	-0.046	0.143	0.054	-0.037	0.120
CF	0.175	-0.313	0.203	0.290	0.002	-0.194
Al	0.281	0.118	0.108	0.073	-0.008	0.244
Cr	0.260	0.154	-0.147	-0.282	-0.175	-0.048
Cu	0.020	-0.008	-0.607	0.473	-0.367	0.265
Mn	0.284	0.009	-0.181	0.083	0.110	0.037
Ni	0.030	0.336	-0.375	-0.422	0.050	-0.038
Pb	0.273	0.026	0.251	0.199	0.085	0.011
Zn	0.261	0.166	0.059	0.241	-0.184	-0.053
As	0.272	-0.063	0.001	-0.160	-0.178	0.535

La figura que representa la correlación de los parámetros de contaminación seleccionados con los dos primeros componentes principales (PC1 y PC2) esclarece gráficamente las tendencias de los distintos contaminantes.

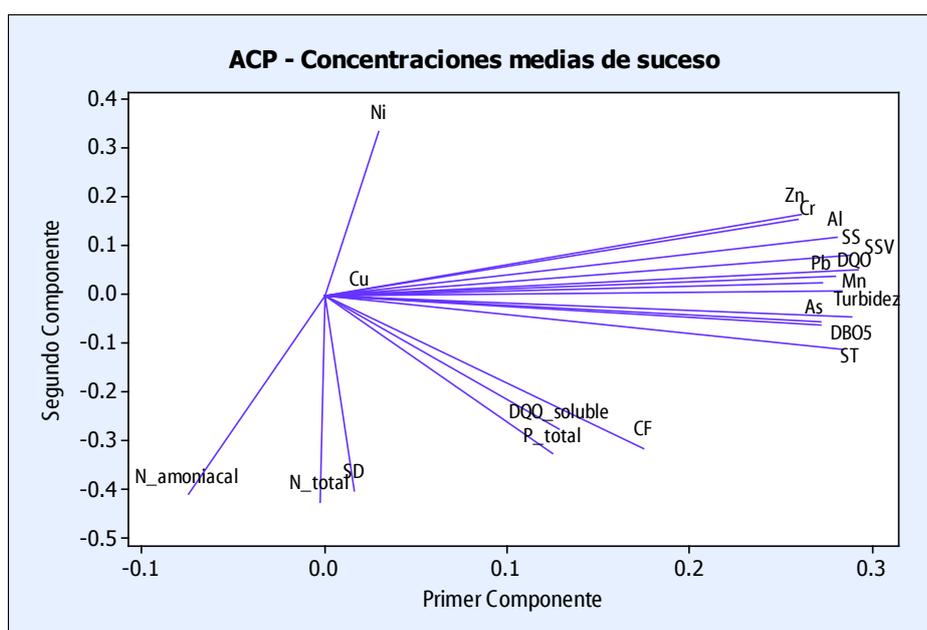


Figura 7-103. ACP de concentraciones medias de suceso para los parámetros seleccionados.

El grupo de contaminantes que presenta un comportamiento muy similar son la DQO, DBO₅, SS, SSV, ST, turbidez y todos los metales excepto el Ni.

7.4.3. Análisis de concentraciones y cargas movilizadas en la cuenca

El análisis exploratorio de datos (*"Exploratory Data Analysis"*) es una herramienta rápida para realizar la búsqueda de tendencias o patrones de comportamiento de una serie de datos. Para realizar este tipo de análisis se emplean fundamentalmente herramientas de representación gráfica de los datos, aunque estas técnicas pueden complementarse con tests estadísticos cuantitativos. Los tipos de gráficos empleados en este caso han sido los gráficos de distribución de probabilidad (tipo lognormal y normal) y los conocidos como *"box-whisker"* o diagramas de distribución de datos.

El análisis de los datos obtenidos para los parámetros básicos más importantes y los metales seleccionados se ha estructurado de la siguiente forma:

1º) Análisis de las concentraciones máximas de suceso (CMAX), concentraciones medias de suceso (CMS) y cargas movilizadas (CMOV) por hectárea neta de cuenca o por km² de red de la cuenca estudiada. Las CMAX y CMS se han ajustado a funciones de distribución de

probabilidad de tipo lognormal, mientras que las CMOV de esta cuenca se han ajustado a funciones tipo normal.

2º) Comparación entre las concentraciones de contaminación obtenidas en la cuenca en tiempo seco y tiempo de lluvia. Las concentraciones tanto de tiempo seco como de tiempo de lluvia se han ajustado a funciones de distribución de probabilidad de tipo lognormal.

3º) Comparación de las CMAX, CMS y CMOV en la cuenca "Ensanche" con las de las siguientes cuencas unitarias estudiadas en España.

- ✓ **Cuenca Cancelón (Santiago de Compostela):** cuenca unitaria estudiada en la tesis de Beneyto en 2004, con una superficie total de 80 ha de tipo mixto, con zonas rurales y zonas más urbanas, la superficie neta es de 45 ha aproximadamente. La población residente es de unos 11.500 habitantes. La red de saneamiento y drenaje presenta una notable infiltración de agua proveniente de principal arroyo de la cuenca con la que comparte nombre. Se muestrearon 13 eventos pluviométricos.

- ✓ **Cuenca Riera d'Horta (Barcelona):** es una cuenca unitaria estudiada en el proyecto Cenit Sostaqua 2007-2010 (proyecto que ha financiado esta tesis) con una extensión de 1208 ha y una población residente de aproximadamente 200.000 habitantes. La cuenca, debido a su extensión, es muy heterogénea con usos residenciales, comerciales, industriales y zonas verdes. Se muestrearon 9 sucesos de lluvia.

- ✓ **PROMEDSU:** Programa Nacional de Medición de Descargas de Sistemas Unitarios llevado a cabo por el Ministerio de Medio Ambiente y finalizado en el año 2001, en este proyecto se estudiaron los flujos de contaminación movilizados en tiempo de lluvia de cuencas piloto en las 5 principales ciudades españolas, la descripción de las cuencas analizadas se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 7-21. Descripción de las cuencas piloto estudiadas en Promedsu (MMA, 2001).

Ciudad	Cuenca	Superficie	Población	Características
Madrid	Arroyo del Fresno	3800 ha	190.000	Usos del suelo tipo mixto, cuenca heterogénea.
Sevilla	Triana-Los Remedios	135 ha	18.000	Usos residencial y comercial.
Vitoria	Eroski	132 ha	45.000	Urbana, usos residencial y comercial, sin incidencia industrial.
Barcelona	Bac de Roda	--	39.950	Cuenca heterogénea, predomina el uso residencial aunque con asentamientos industriales significativos.
Valencia	Malvarrosa	90 ha	8.000	Repartida en uso residencial y comercial.

En total se muestrearon 46 sucesos pluviométricos, se ha prescindido de los 3 eventos analizados en la cuenca valenciana debido a su elevada infiltración en la red proveniente de una acequia, los 43 sucesos restantes se han integrado para su análisis y comparación.

En este apartado de comparación con otras cuencas todos los grupos de datos se han ajustado a funciones de distribución de tipo lognormal debido a que las CMOV de la cuenca de "Cancelón" se ajustan mucho mejor a este tipo de función frente a la normal, mientras que las del "Ensanche" se ajustan bien a ambas.

7.4.3.1. Consumidores de oxígeno

7.4.3.1.1. Análisis de CMAX, CMS y CMOV en los sucesos muestreados

Las conclusiones más relevantes obtenidas del análisis de resultados obtenidos de los parámetros de contaminación consumidora de oxígeno han sido las siguientes:

- ✓ En el caso de la DQO, la CMAX media se sitúa en torno a los 2000 mg/L con un 3^{er} cuartil superior a 3000 mg/L lo que da una idea del enorme incremento de contaminación en la primera parte del hidrograma en algunos sucesos. La CMS media es de unos 1000 mg/L aproximadamente, mientras que la CMOV media puede situarse en los 15 kg/ha ó 80 kg/km·m de red.
- ✓ La DQO soluble es solo una pequeña fracción de la total (casi un orden de magnitud menos).
- ✓ La CMAX media de DBO₅ es ligeramente superior a 1000 mg/L y la CMS media se sitúa en torno a los 500 mg/L. En cuanto a las cargas movilizadas, la media es de 7 kg/ha ó 40 kg/km·m de red aproximadamente.

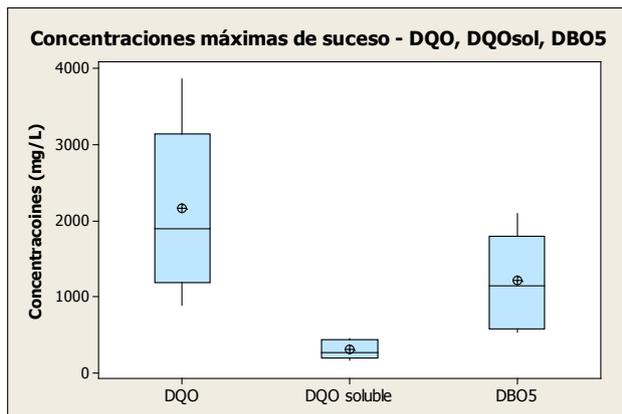


Figura 7-104. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de los consumidores de oxígeno.

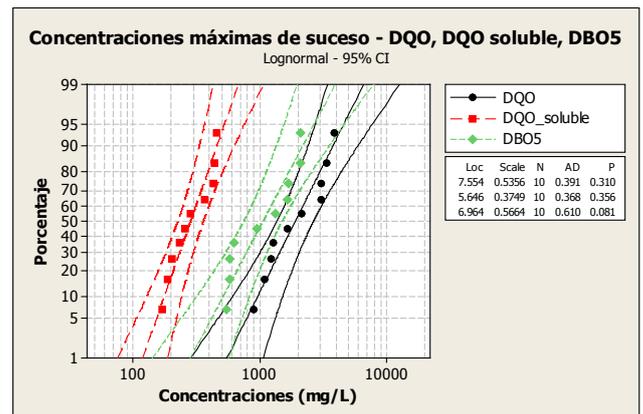


Figura 7-105. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de los consumidores de oxígeno.

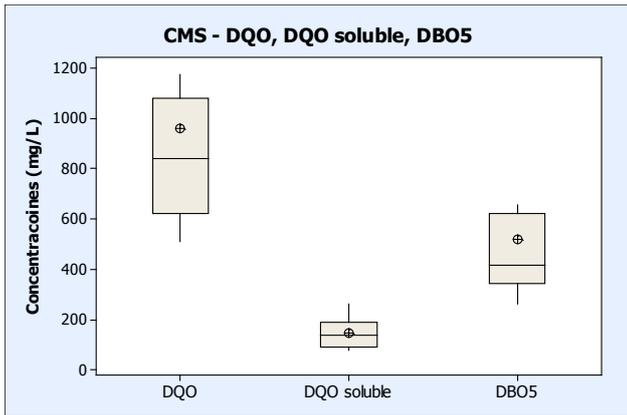


Figura 7-106. Diagramas de distribución de datos para las CMS de los consumidores de oxígeno.

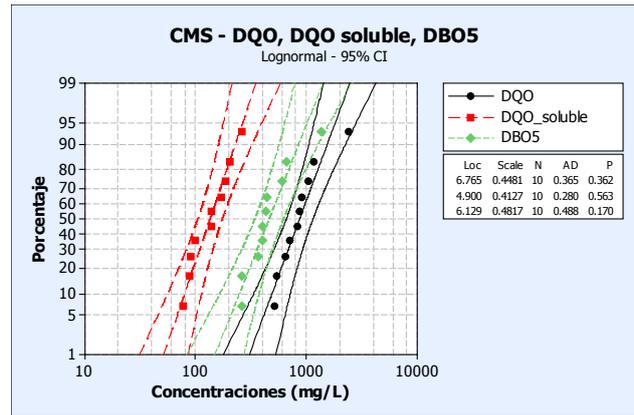


Figura 7-107. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de los consumidores de oxígeno.

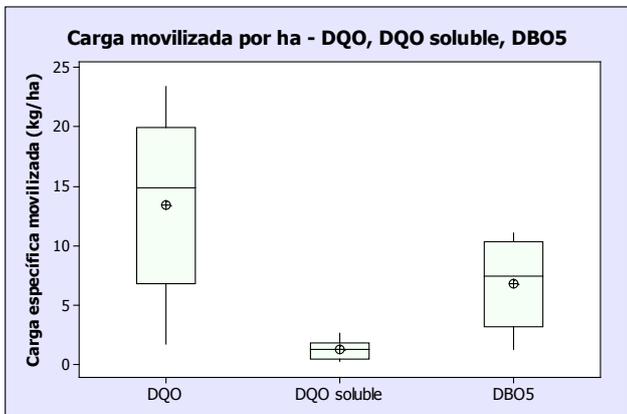


Figura 7-108. Diagramas de distribución de datos de CMOV por ha para los consumidores de oxígeno.

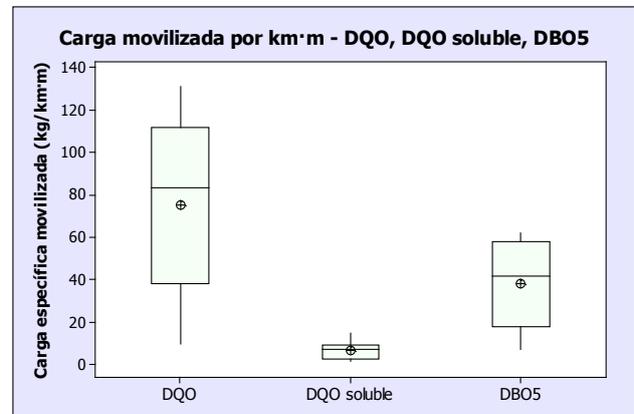


Figura 7-109. Diagramas de distribución de datos de CMOV por km·m para los consumidores de oxígeno.

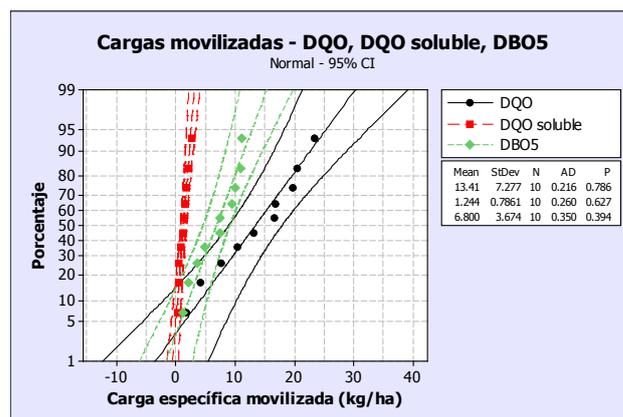


Figura 7-110. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de los consumidores de oxígeno.

7.4.3.1.2. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca

El comportamiento de los consumidores de oxígeno es paralelo entre la DBO₅ y la DQO, existiendo muy buena correlación entre ambos parámetros. Esta correlación puede apreciarse en la forma casi idéntica de las distribuciones que se presentan a continuación.

En el caso de la DQO soluble, la forma y las tendencias no son iguales, se percibe como existe una pequeña dominancia de las concentraciones de tiempo seco asociada al uso doméstico del agua. En todo caso, las curvas son bastante uniformes (sin grandes extremos) en ambos casos.

En el caso de la DQO y de la DBO₅, en términos globales, la carga asociada al tiempo de lluvia es, en general, superior. La curva asociada al tiempo seco es bastante uniforme (extremos moderados), mientras que la asociada al tiempo de lluvia presenta extremos más acusados.

Los fenómenos que están detrás de estas tendencias son la contaminación de la cuenca y, sobre todo, el arrastre de sedimentos de la red, que se da con lluvias de cierta intensidad. Esto justifica la asociación masiva de la DQO a la fracción sólida (al sedimento). El valor promedio de la DQO está en el entorno de los 600 mg/L en tiempo seco, y de los 700 mg/L en tiempo de lluvia.

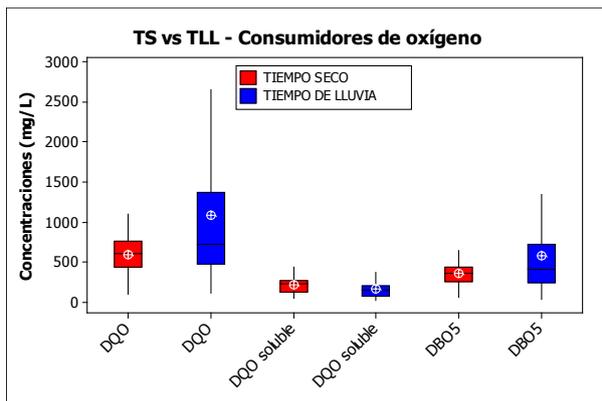


Figura 7-111. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de los consumidores de oxígeno en tiempo seco y de lluvia.

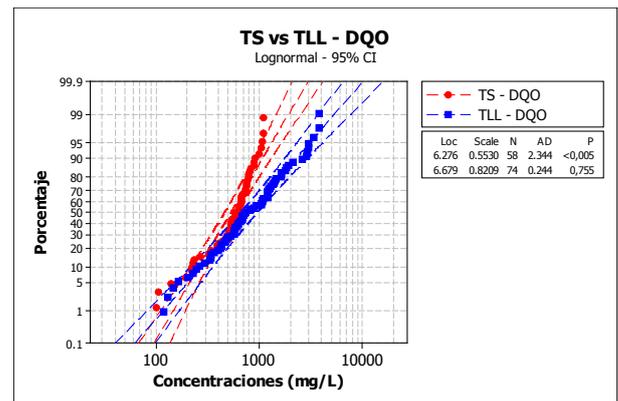


Figura 7-112. Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de DQO en tiempo seco y de lluvia.

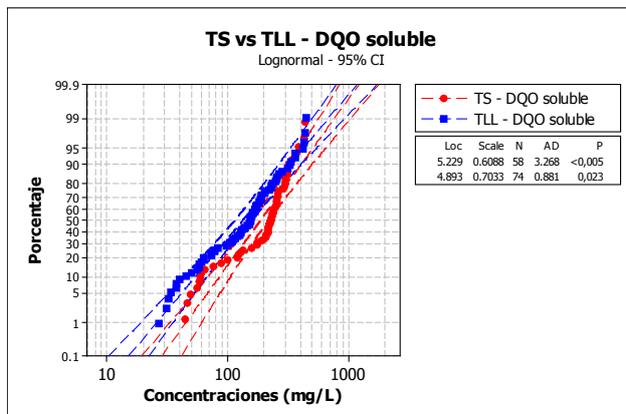


Figura 7-113. Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de DQO soluble en tiempo seco y de lluvia.

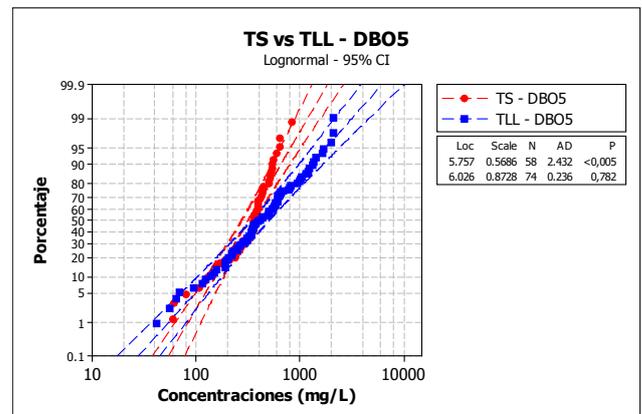


Figura 7-114. Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de DBO5 en tiempo seco y de lluvia.

7.4.3.1.3. Comparación de CMAX, CMS Y CMOV con otras cuencas estudiadas

Como se desprende de las siguientes figuras, las cuencas de “Ensanche” y “Riera d’Horta” tienen un comportamiento homologable a los datos globalizados de PROMEDSU, que incorporan cuencas, en general, plenamente urbanas. Los datos de “Cancelón”, cuenca semiurbana con elevada infiltración, quedan sistemáticamente por debajo en concentraciones.

En lo que respecta a la fracción disuelta, más vinculada con la densidad de población que con la superficie, “Ensanche”, zona muy densamente poblada, adquiere mayores valores que “Cancelón” y que “Riera d’Horta”.

Estas tendencias se evidencian tanto para las concentraciones máximas como para las medias de suceso.

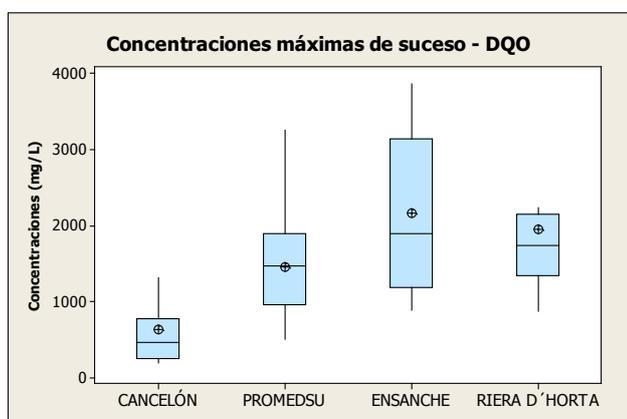


Figura 7-115. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de DQO en las cuencas analizadas.

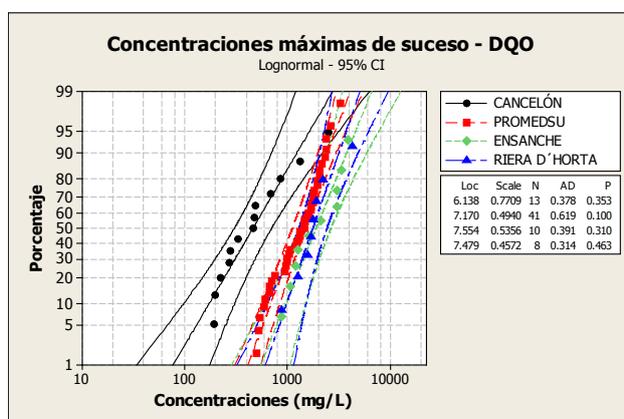


Figura 7-116. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de DQO en las cuencas analizadas.

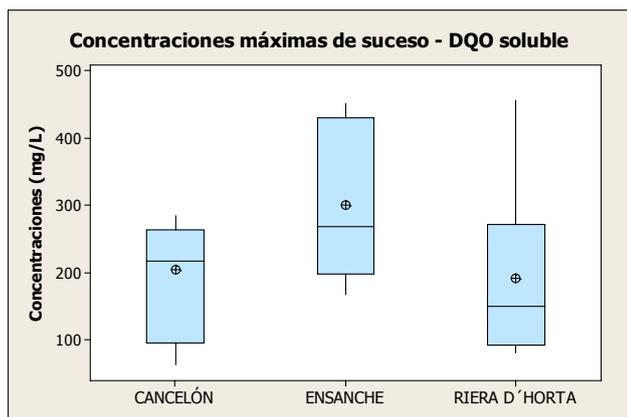


Figura 7-117. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de DQO soluble en las cuencas analizadas.

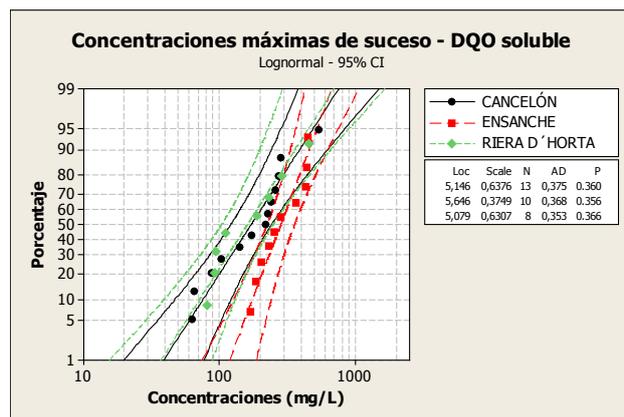


Figura 7-118. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de DQO soluble en las cuencas analizadas.

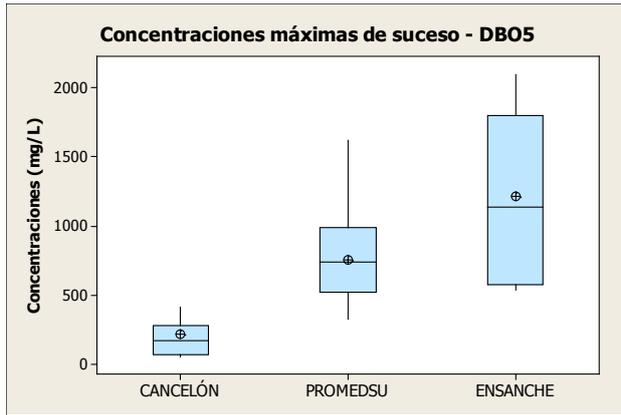


Figura 7-119. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de DBO5 en las cuencas analizadas.

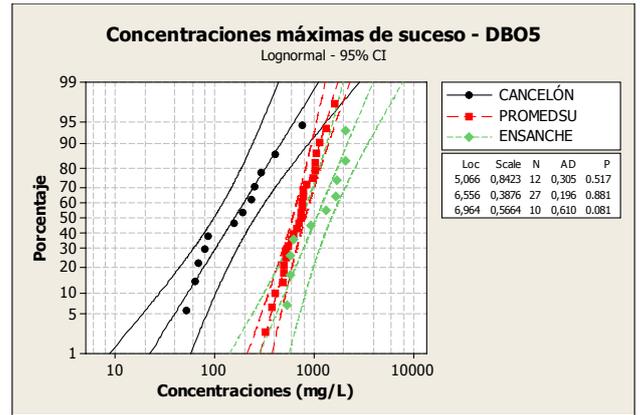


Figura 7-120. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de DBO5 en las cuencas analizadas.

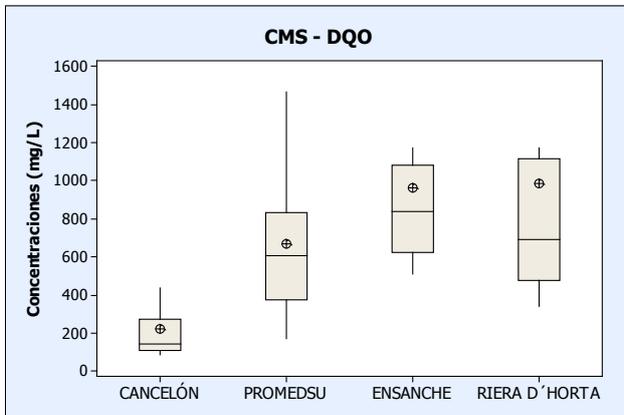


Figura 7-121. Diagramas de distribución de datos para las CMS de DQO en las cuencas analizadas.

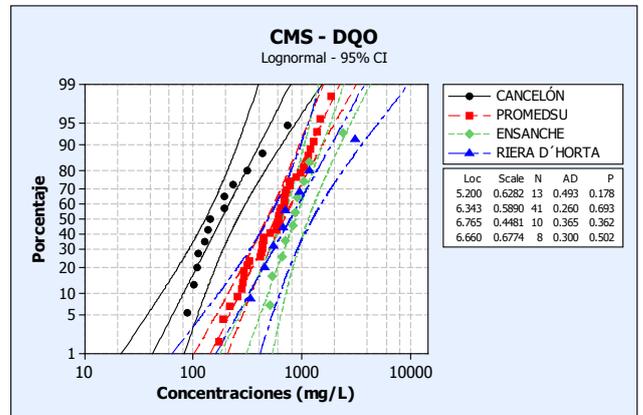


Figura 7-122. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de DQO en las cuencas analizadas.

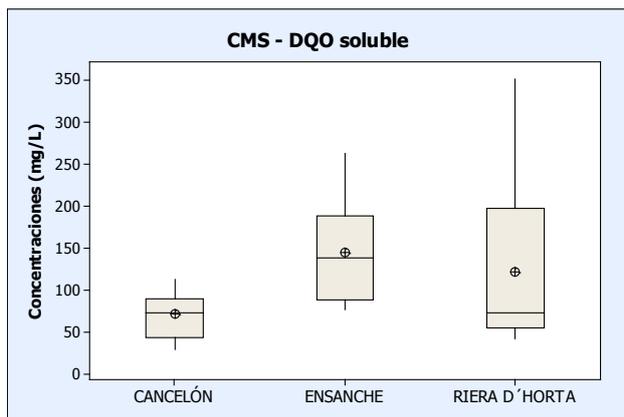


Figura 7-123. Diagramas de distribución de datos para las CMS de DQO soluble en las cuencas analizadas.

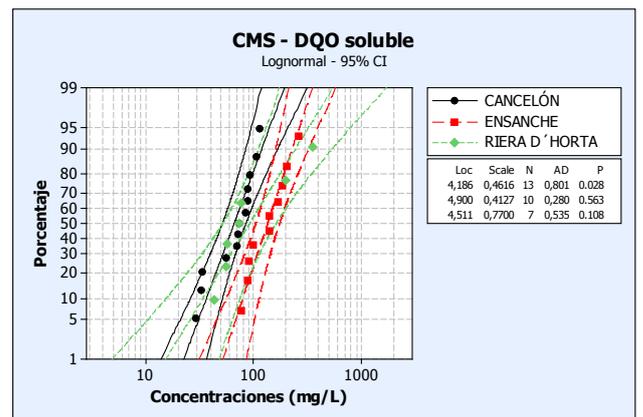


Figura 7-124. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de DQO soluble en las cuencas analizadas.

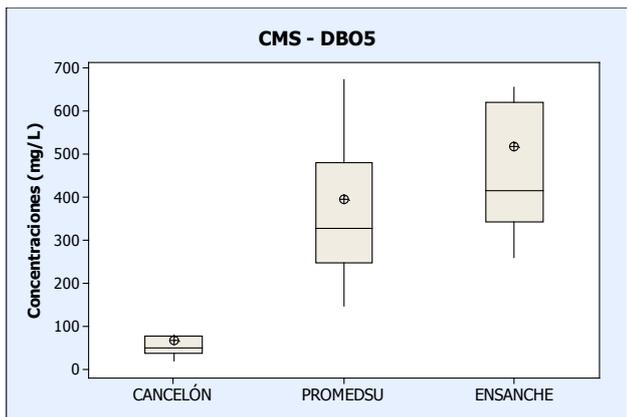


Figura 7-125. Diagramas de distribución de datos para las CMS de DBO5 en las cuencas analizadas.

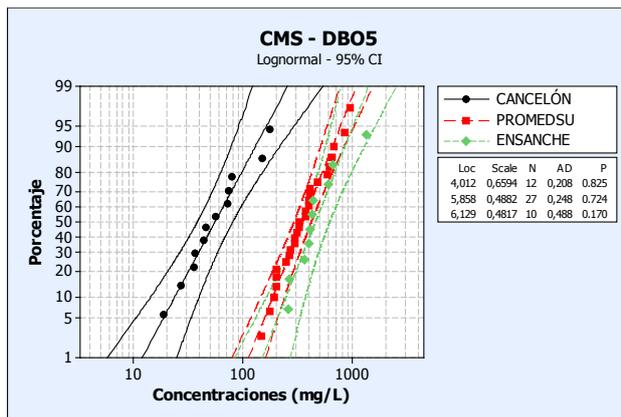


Figura 7-126. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de DBO5 en las cuencas analizadas.

Las cargas movilizadas de DQO y DBO₅ de una cuenca plenamente urbana, como “Ensanche”, son superiores a las de una cuenca semiurbana. Esto se percibe en la comparación entre “Ensanche” y “Cancelón”, ambas en Santiago y, por tanto, con meteorología similar.

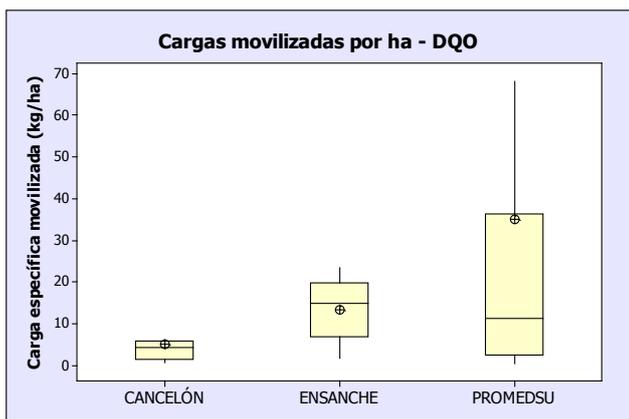


Figura 7-127. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por ha de DQO en las cuencas analizadas.

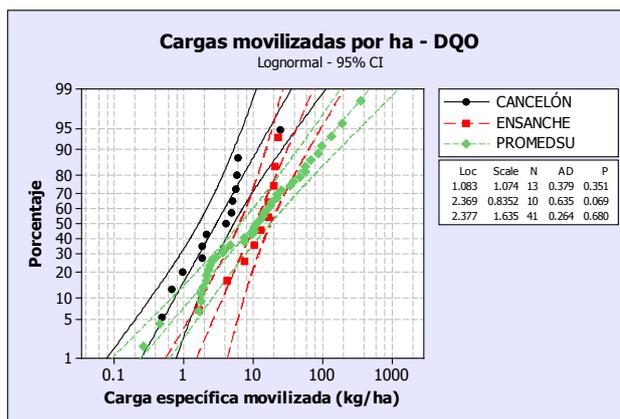


Figura 7-128. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de DQO en las cuencas analizadas.

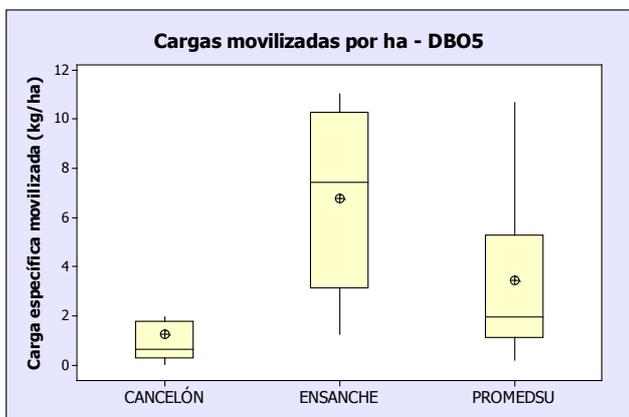


Figura 7-129. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por ha de DBO₅ en las cuencas analizadas.

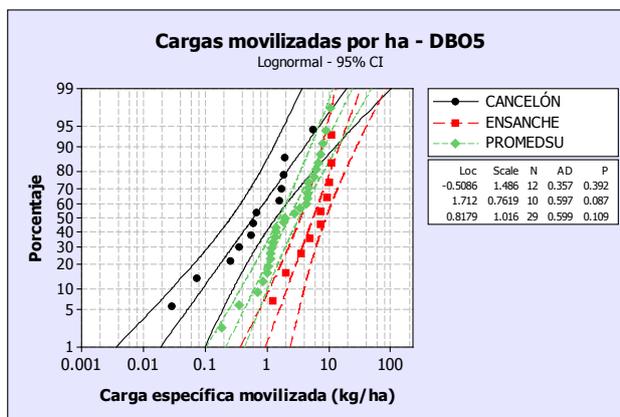


Figura 7-130. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de DBO₅ en las cuencas analizadas.

La movilización de DBO₅ en “Ensanche” es, en general, superior a la obtenida en el PROMEDSU, lo cual da una idea de la alta biodegradabilidad de los sedimentos resuspendidos en la red estudiada.

7.4.3.2. Carbono orgánico total y disuelto (COT y COD)

7.4.3.2.1. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca

El COT supone un orden de magnitud más que el COD, de modo paralelo a lo que sucedía con los consumidores de oxígeno (DQO). Los extremos en la fracción particulada son asimismo más acusados, alcanzando valores de hasta 900 mg/L en la cuenca “Ensanche” en tiempo de lluvia.

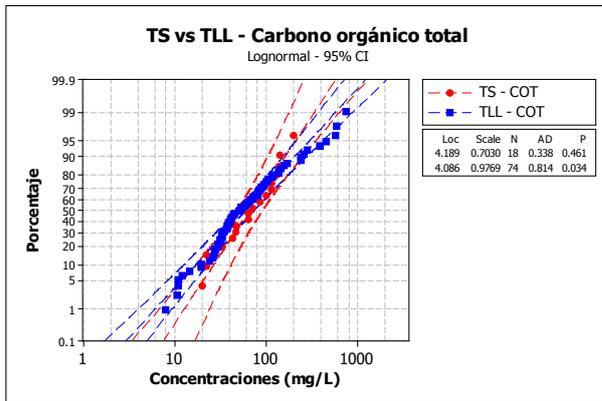


Figura 7-131. Distributions de probabilidad acumulada para las concentraciones de COT en tiempo seco y de lluvia.

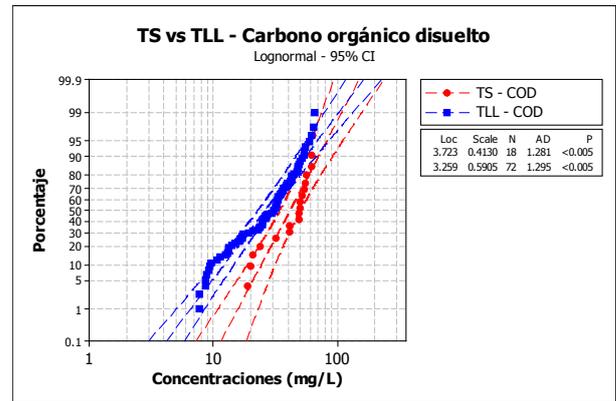


Figura 7-132. Distributions de probabilidad acumulada para las concentraciones de COD en tiempo seco y de lluvia.

7.4.3.2.2. Comparación de CMAX y CMS con otras cuencas estudiadas

La cuenca “Ensanche”, unitaria y 100% urbana, presenta una concentración claramente por encima del promedio de PROMEDSU y de “Riera d’Horta”, que por sus dimensiones y por englobar áreas algo menos pobladas recoge una concentración algo inferior.

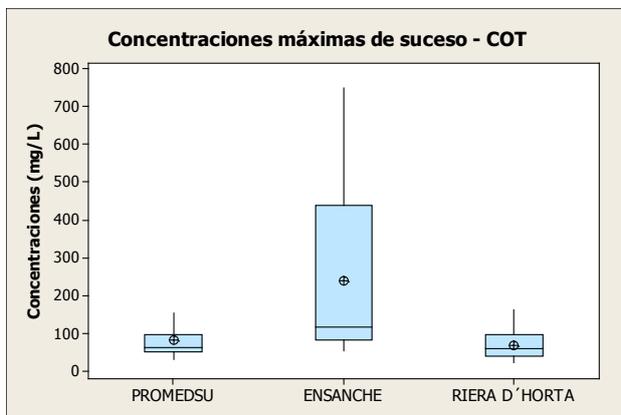


Figura 7-133. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de COT en las cuencas analizadas.

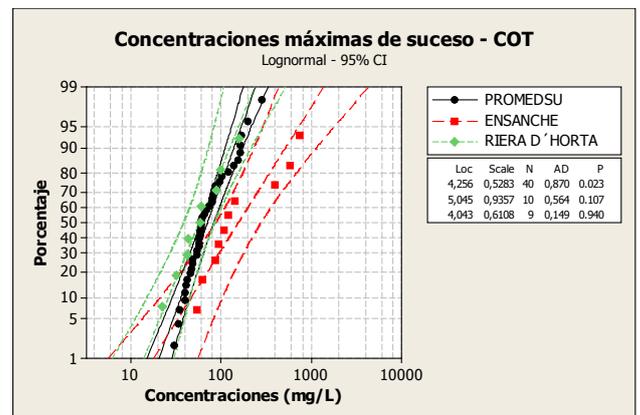


Figura 7-134. Distributions de probabilidad acumulada para las CMAX de COT en las cuencas analizadas.

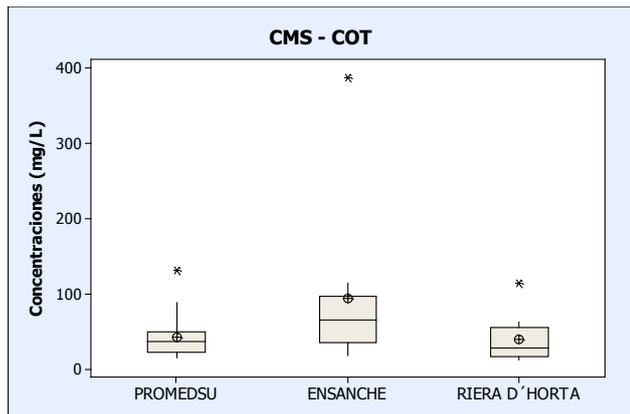


Figura 7-135. Diagramas de distribución de datos para las CMS de COT en las cuencas analizadas.

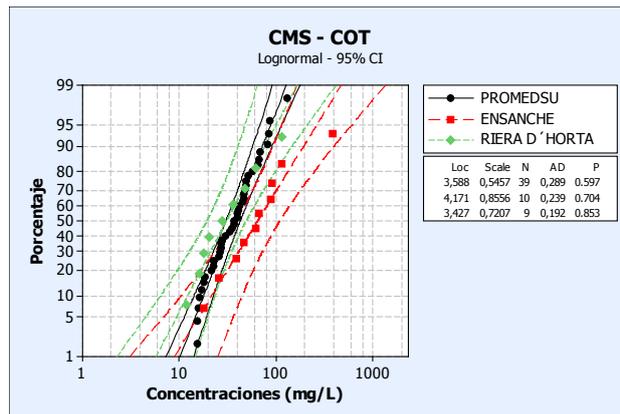


Figura 7-136. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de COT en las cuencas analizadas.

7.4.3.3. Formas de nitrógeno

7.4.3.3.1. Análisis de CMAX, CMS y CMOV en los sucesos muestreados

Los resultados obtenidos en el análisis de los datos de las formas de nitrógeno son los siguientes:

- ✓ Las CMAX medias de N total son de 80-90 mg/L y la CMS media es de 50 mg/L aproximadamente. En cuanto a las cargas movilizadas, éstas se sitúan en 0.5 kg/ha ó 2.7 kg/km.m de red.
- ✓ El nitrógeno amoniacal presenta unas CMAX medias de 35 mg/L y CMS medias de 20 mg/L. Las cargas movilizadas son bajas dado que se trata de una sustancia asociada eminentemente a la fase disuelta del agua residual y, por ello, tiende a diluir su concentración en tiempo de lluvia aunque es importante resaltar que, en determinados sucesos, aquellos con mayor tiempo seco precedente, puede aumentar su concentración al comienzo del hidrograma debido al proceso de amonificación de nitrógeno orgánico presente en los sedimentos de la red.

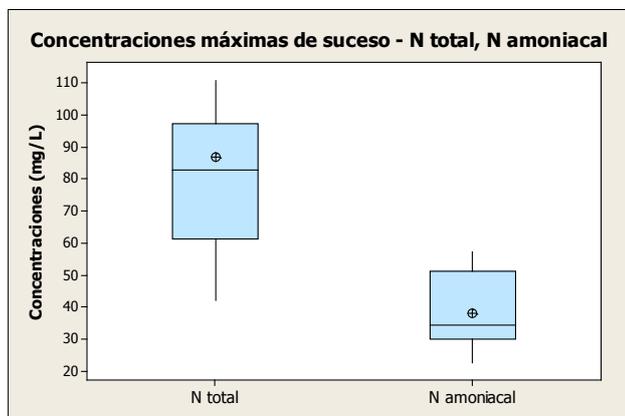


Figura 7-137. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de N total y amoniacal.

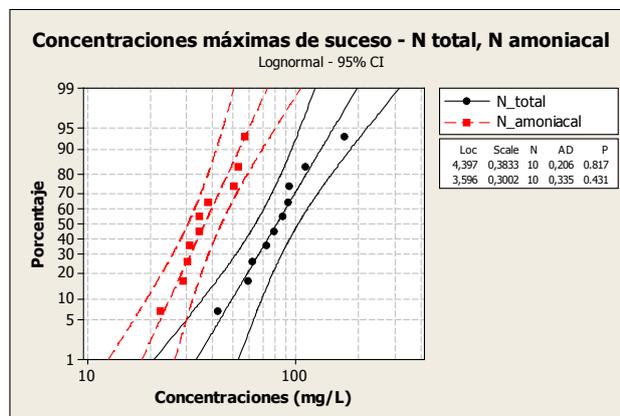


Figura 7-138. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de N total y amoniacal.

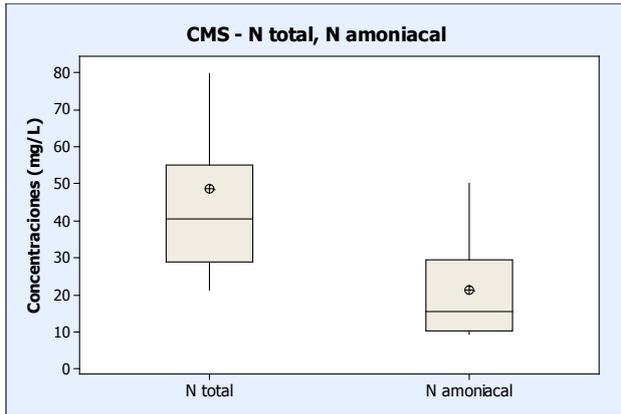


Figura 7-139. Diagramas de distribución de datos para las CMS de N total y amoniacal.

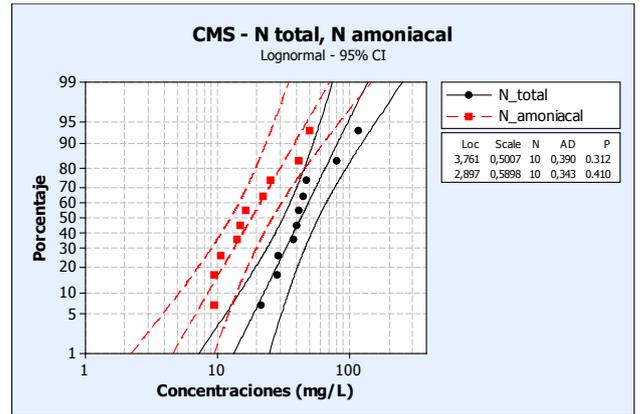


Figura 7-140. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de N total y amoniacal.

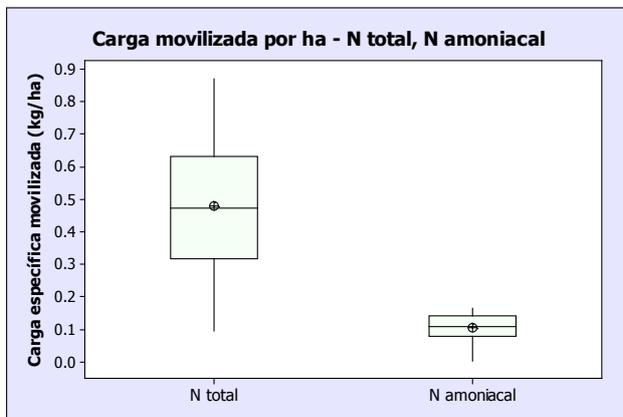


Figura 7-141. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por ha de N total y amoniacal.

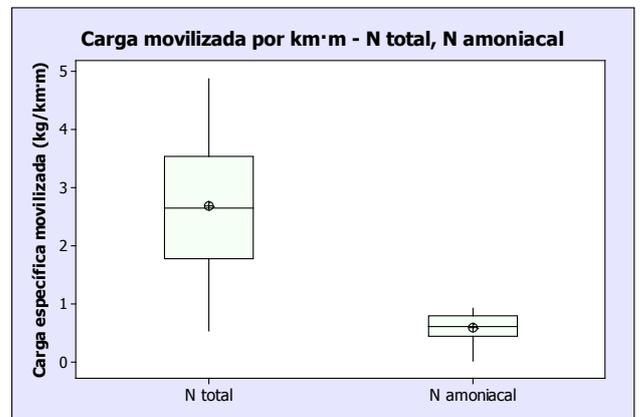


Figura 7-142. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por km·m de N total y amoniacal.

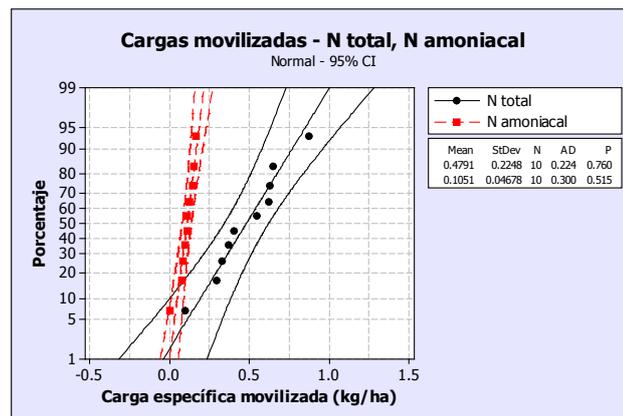


Figura 7-143. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de N total y amoniacal.

7.4.3.3.2. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca

El valor promedio de las concentraciones de nitrógeno total en tiempo de lluvia es similar a la concentración promediada de tiempo seco. La movilización de sedimentos en tiempo de lluvia, con una importante carga de nitrógeno orgánico, es el causante de estos valores.

En lo que respecta al nitrógeno amoniacal, sin embargo, la concentración en tiempo seco, propia de un uso urbano, es mayor a la registrada en tiempo de lluvia. En este caso, el agua de lluvia sí parece tener un efecto de dilución para esta sustancia en concreto, exceptuando el tramo inicial del hidrograma de algún evento con elevado tiempo seco precedente, en el cual existe un pequeño pico de concentración debido a la presencia de amonio en el agua intersticial ocluida en los sólidos movilizados.

Las concentraciones de N total en tiempo seco y de lluvia se cruzan en los gráficos de distribución de probabilidad acumulada debido a que al comienzo de los eventos pluviométricos el valor es superior al de tiempo seco (arrastre de sedimentos) e inferior en la parte final del hidrograma en tiempo de lluvia (dilución).

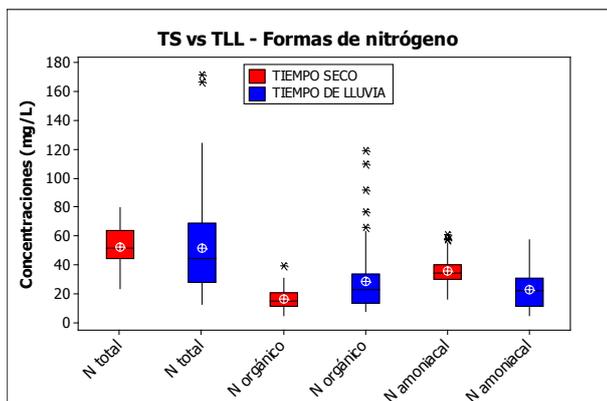


Figura 7-144. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de las formas de nitrógeno en tiempo seco y de lluvia.

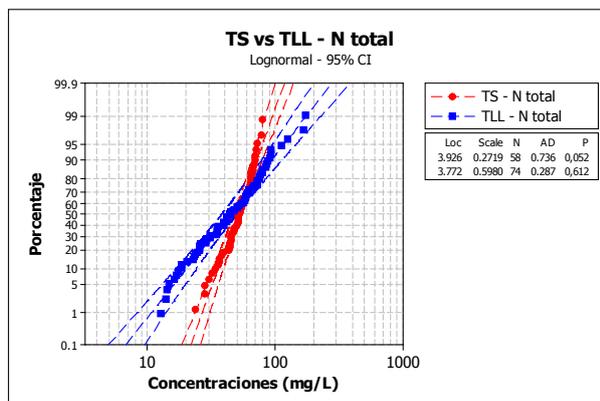


Figura 7-145. Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de N total en tiempo seco y de lluvia.

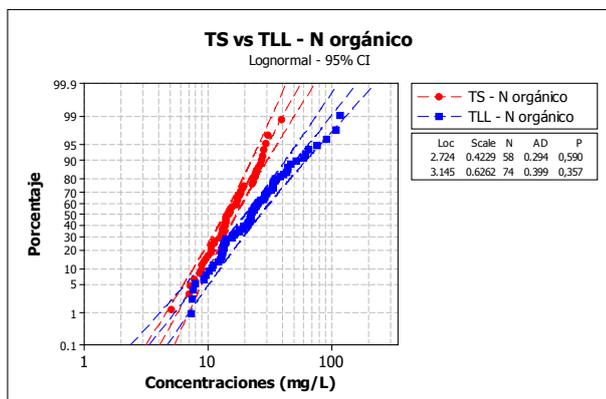


Figura 7-146. Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de N orgánico en tiempo seco y de lluvia.

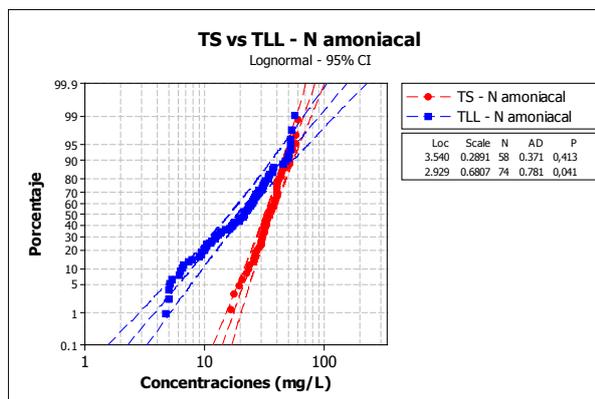


Figura 7-147. Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de N amoniacal en tiempo seco y de lluvia.

7.4.3.3.3. Comparación de CMAX, CMS Y CMOV con otras cuencas estudiadas

La concentración de "Ensanche" es algo mayor que el resto de cuencas, por su carácter eminentemente urbano. "Riera d'Horta" se mantiene en niveles promedio respecto de PROMEDSU, y claramente por encima de cuencas semirurales con infiltración, como "Cancelón".

Estas tendencias en concentraciones se evidencian en todos los parámetros analizados. Sólo en el caso del N orgánico presenta "Cancelón" valores de concentración comparativos al resto de cuencas.

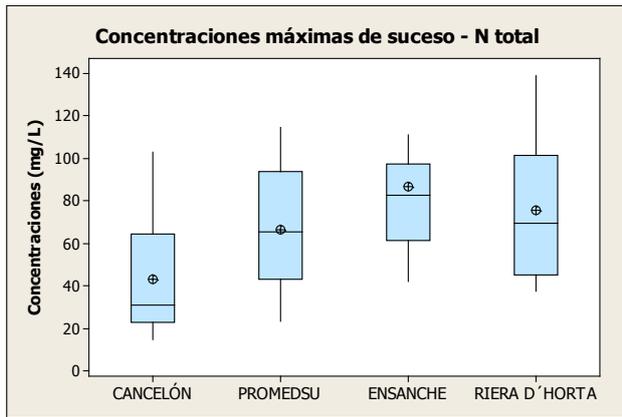


Figura 7-148. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de N total en las cuencas analizadas.

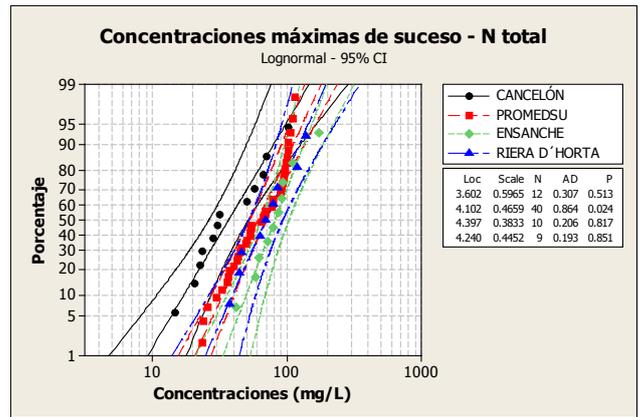


Figura 7-149. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de N total en las cuencas analizadas.

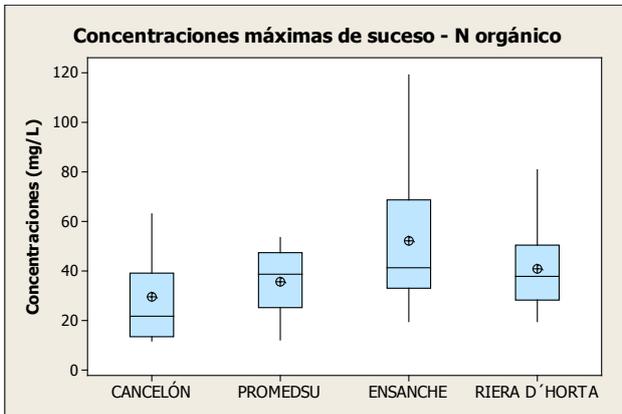


Figura 7-150. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de N orgánico en las cuencas analizadas.

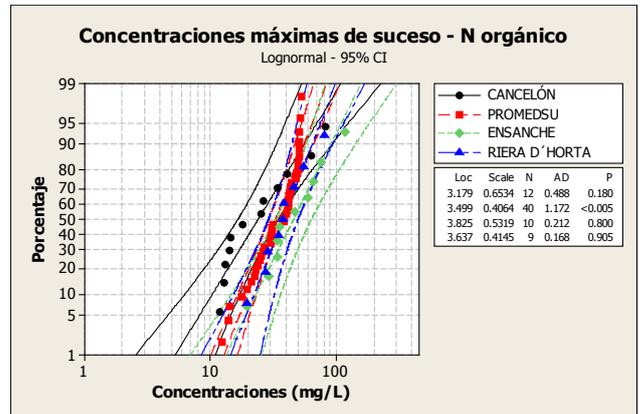


Figura 7-151. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de N orgánico en las cuencas analizadas.

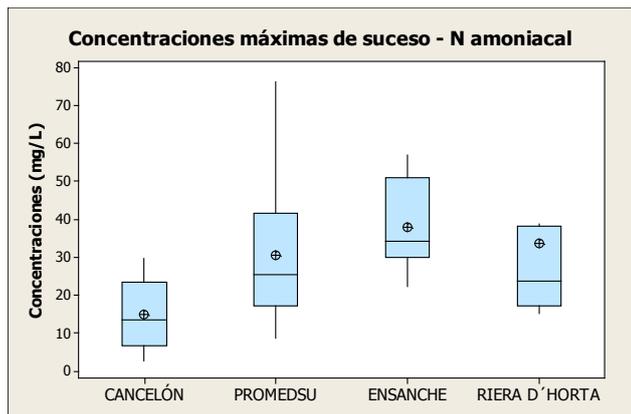


Figura 7-152. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de N amoniacal en las cuencas analizadas.

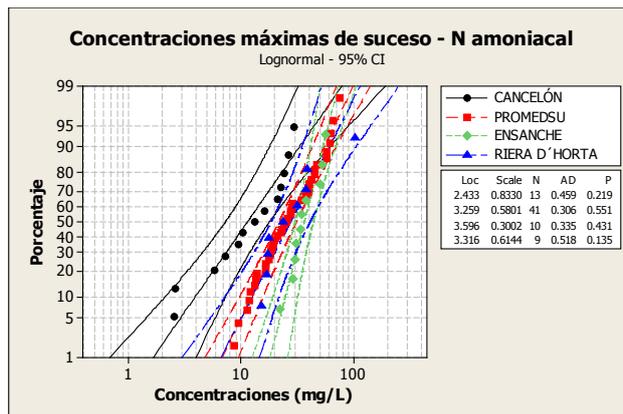


Figura 7-153. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de N amoniacal en las cuencas analizadas.

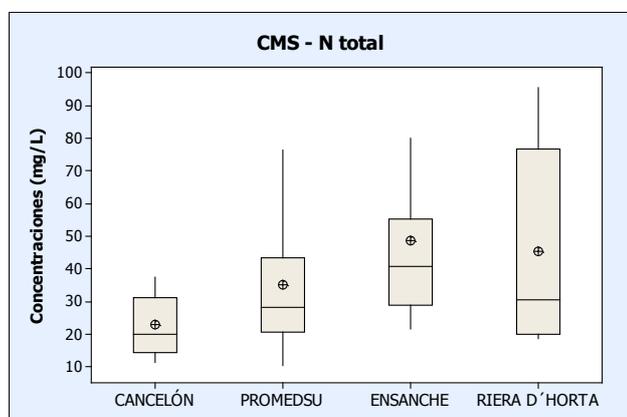


Figura 7-154. Diagramas de distribución de datos para las CMS de N total en las cuencas analizadas.

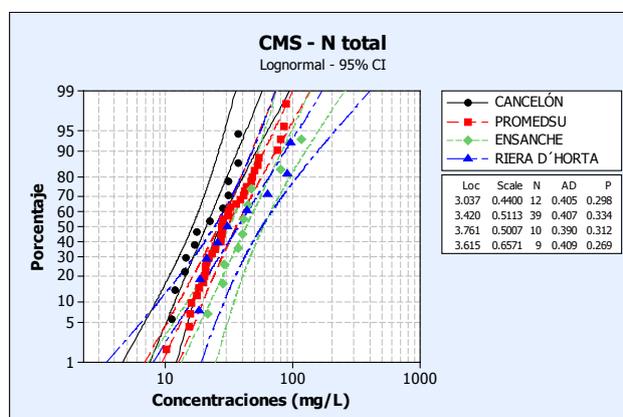


Figura 7-155. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de N total en las cuencas analizadas.

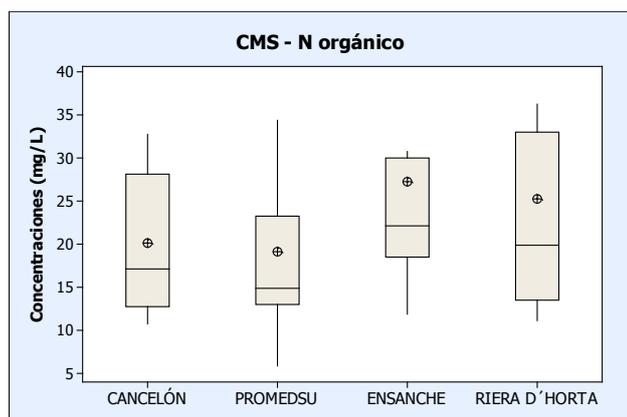


Figura 7-156. Diagramas de distribución de datos para las CMS de N orgánico en las cuencas analizadas.

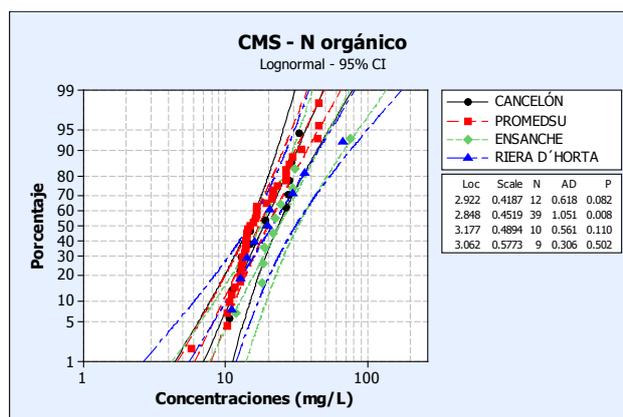


Figura 7-157. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de N orgánico en las cuencas analizadas.

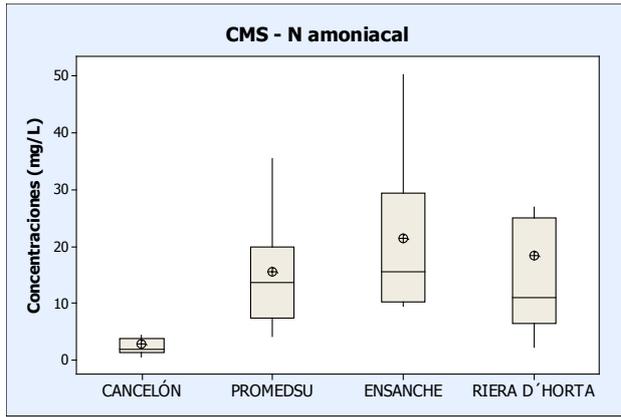


Figura 7-158. Diagramas de distribución de datos para las CMS de N amoniacal en las cuencas analizadas.

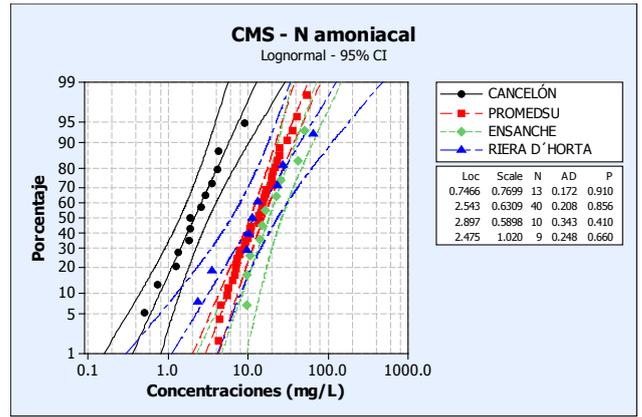


Figura 7-159. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de N amoniacal en las cuencas analizadas.

Una vez analizadas las concentraciones existentes entre las cuencas compostelanas de “Ensanche” y “Cancelón” y, viéndose claramente la gran diferencia de valores, intuitivamente cabe esperarse que los resultados en cuanto a cargas específicas movilizadas sean también distintos, hecho que no ocurre sino más bien al contrario. Como puede observarse a continuación, los resultados de cargas movilizadas por hectárea neta o por km·m de red son cuasi idénticos para las formas de nitrógeno total y orgánico en ambas cuencas. Esto prueba la evidencia de la alta infiltración en la red de “Cancelón”.

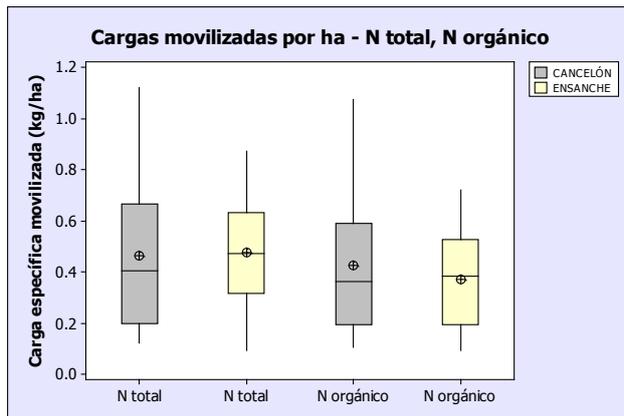


Figura 7-160. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por ha de N total y amoniacal en las cuencas analizadas.

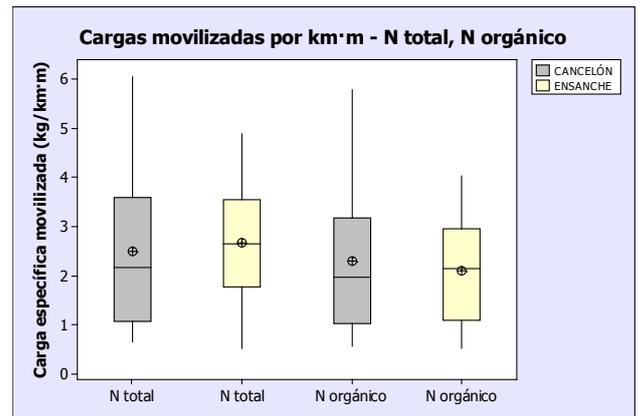


Figura 7-161. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por km·m de N total y amoniacal en las cuencas analizadas.

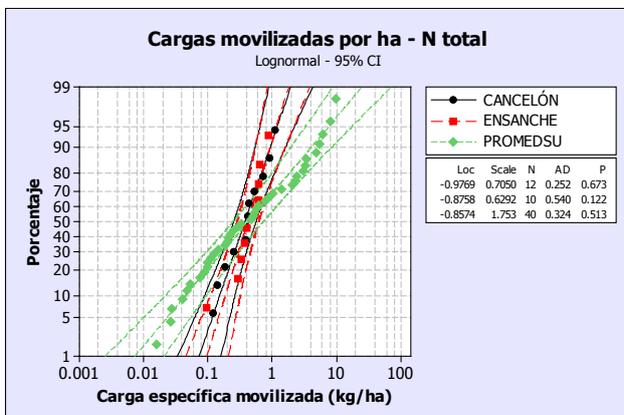


Figura 7-162. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de N total en las cuencas analizadas.

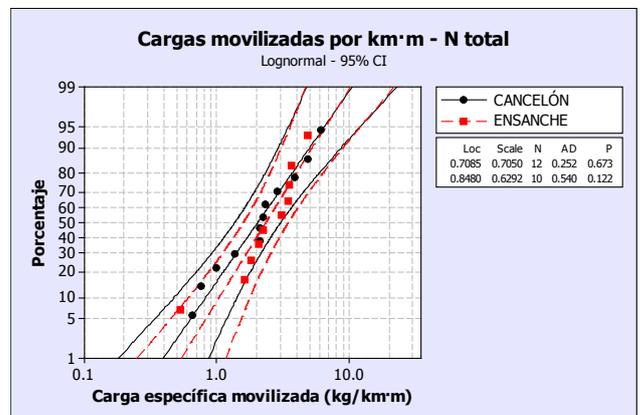


Figura 7-163. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por km·m de N total en las cuencas analizadas.

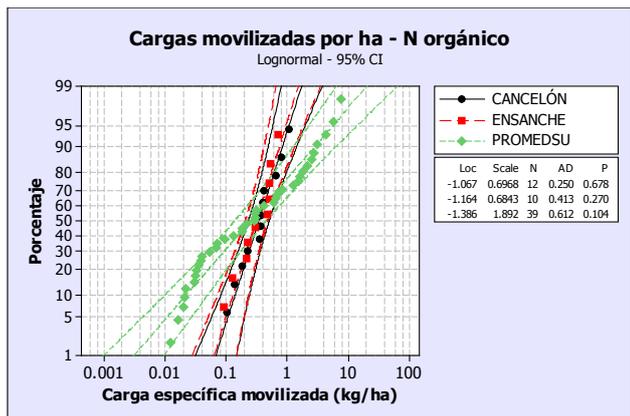


Figura 7-164. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de N orgánico en las cuencas analizadas.

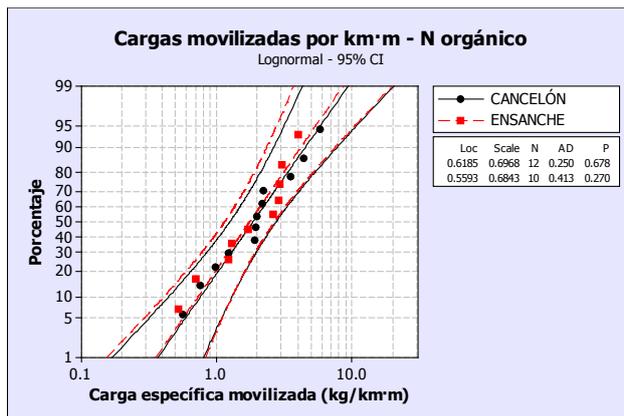


Figura 7-165. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por km·m de N orgánico en las cuencas analizadas.

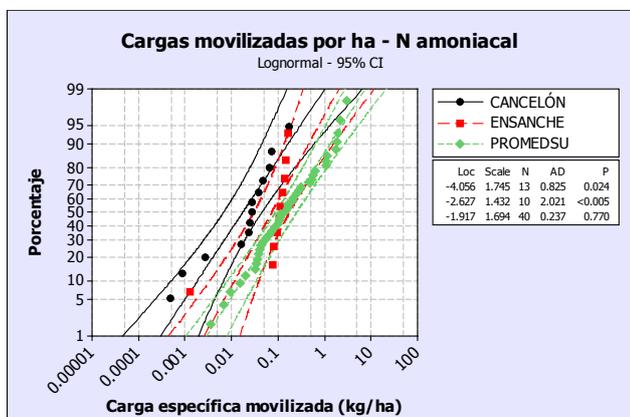


Figura 7-166. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de N amoniacal en las cuencas analizadas.

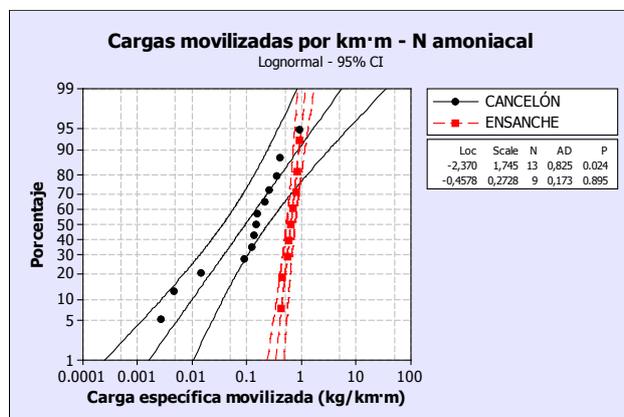


Figura 7-167. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por km·m de N amoniacal en las cuencas analizadas.

Las conclusiones más importantes en cuanto a cargas movilizadas en “Ensanche” y “Cancelón” son:

- ✓ Las cargas movilizadas de N total en ambas cuencas, tanto por hectárea neta como por km·m de red, son muy similares y se sitúan de media en 0.5 kg/ha ó 2.5 – 2.7 kg/km·m de red.
- ✓ En cuanto al N orgánico, se observa la misma similitud de resultados en ambas cuencas, los valores medios de movilización son de 0.4 kg/ha ó 2.1 – 2.3 kg/km·m de red.
- ✓ La movilización de N total es, en su gran mayoría, nitrógeno orgánico presente en los sedimentos depositados en la red de saneamiento y drenaje durante el tiempo seco. Esta pequeña diferencia entre ambos parámetros viene representado por el nitrógeno orgánico que se amonifica en los sedimentos del sistema.

7.4.3.4. Formas de fósforo

7.4.3.4.1. Análisis de CMAX, CMS y CMOV en los sucesos muestreados

- ✓ El comportamiento de las formas de fósforo es prácticamente idéntico al de las formas de nitrógeno, los fosfatos (fósforo inorgánico) desempeñan el papel que realiza el nitrógeno amoniacal en el caso de las formas nitrogenadas.
- ✓ Las concentraciones máximas medias resultantes de P total han sido de 15 – 20 mg/L y CMS medias de 8-9 mg/L.
- ✓ La carga media movilizada de P total por hectárea neta es de 0.1 kg/ha ó 0.55 kg/km·m de red.

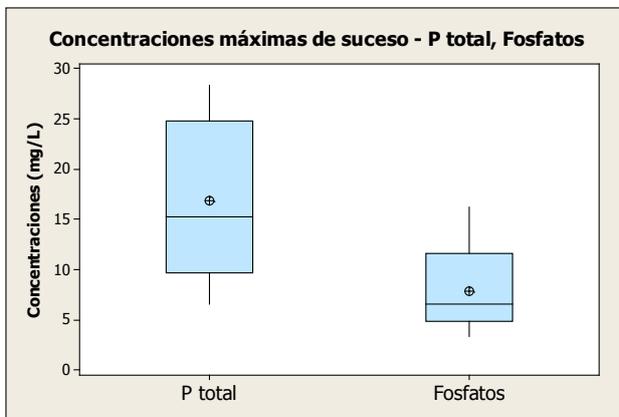


Figura 7-168. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de P total y fosfatos.

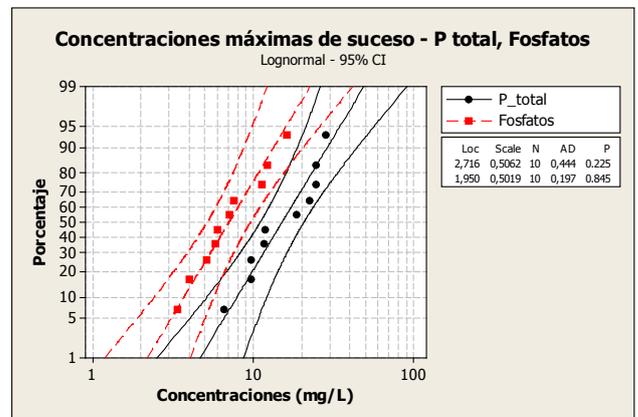


Figura 7-169. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de P total y fosfatos.

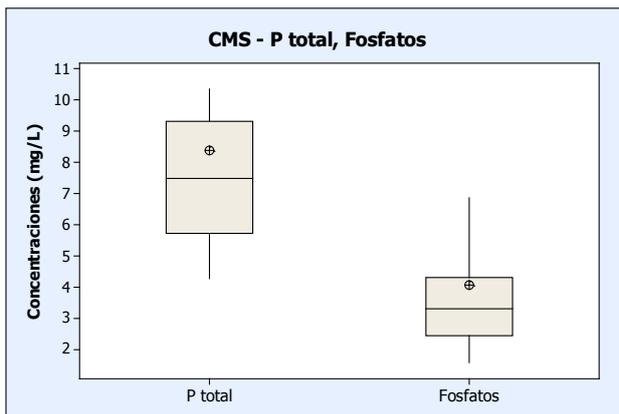


Figura 7-170. Diagramas de distribución de datos para las CMS de P total y fosfatos.

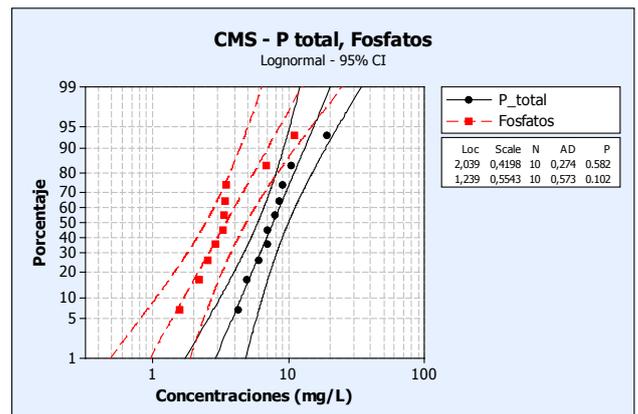


Figura 7-171. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de P total y fosfatos.

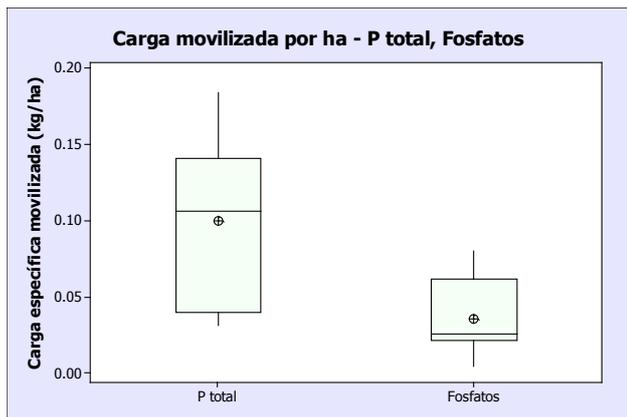


Figura 7-172. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por ha de P total y fosfatos.

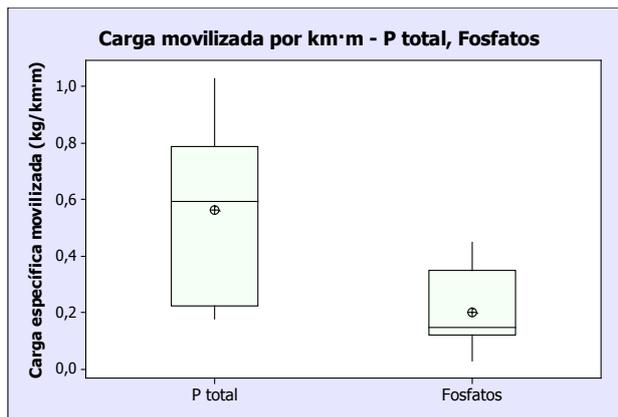


Figura 7-173. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por km·m de P total y fosfatos.

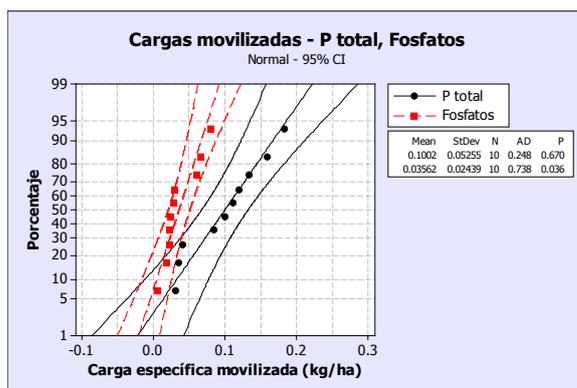


Figura 7-174. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de P total y fosfatos.

7.4.3.4.2. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca

Como ya se ha comentado, el fósforo sigue una dinámica similar al nitrógeno, con movilización en tiempo de lluvia de P orgánico presente en los sedimentos resuspendidos debido al cambio de régimen hidráulico en la red de saneamiento y drenaje. Las distribuciones de probabilidad acumulada de tiempo seco y de lluvia para el P total también se cruzan, al igual que el caso del N total, debido a concentraciones superiores a tiempo seco en la parte inicial del hidrograma del suceso de lluvia e inferior en la cola del mismo.

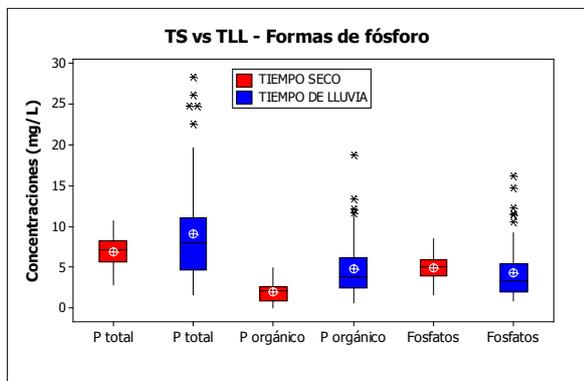


Figura 7-175. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de las formas de fósforo en tiempo seco y de lluvia.

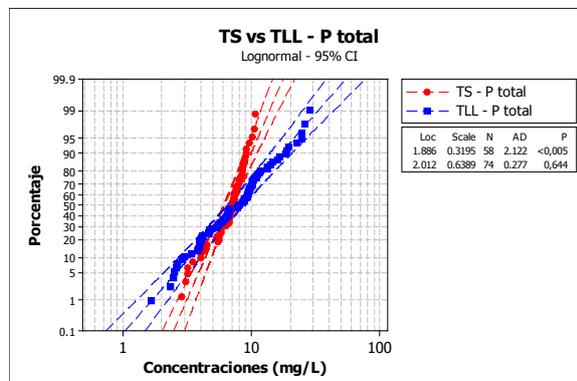


Figura 7-176. Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de P total en tiempo seco y de lluvia.

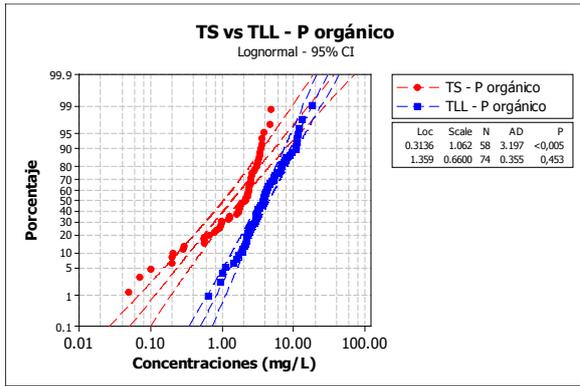


Figura 7-177. Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de P orgánico en tiempo seco y de lluvia.

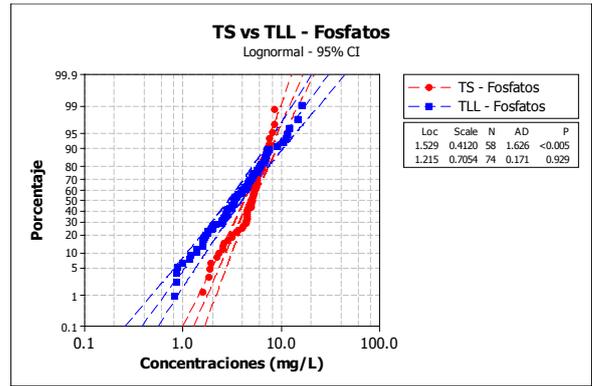


Figura 7-178. Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de fosfatos en tiempo seco y de lluvia.

7.4.3.4.3. Comparación de CMAX, CMS Y CMOV con otras cuencas estudiadas

- ✓ Los valores del fósforo en sus distintas formas alcanza valores similares en “Ensanche” y “Riera d’Horta”, algo superiores a los de las cuencas que se toman como comparación.
- ✓ Las diferencias de concentraciones no son muy relevantes, pudiendo constatare una gran homogeneidad, con concentraciones máximas entre 10-20 mg/L, y CMS de entre 4-8 mg/L para la globalidad de las cuencas analizadas.
- ✓ El aporte de fósforo en “Cancelón” es mayoritariamente P orgánico siendo sus concentraciones máximas y medias comparables con las del “Ensanche” y “Riera d’Horta”.
- ✓ Los resultados de cargas específicas movilizadas son muy similares en las cuencas analizadas de “Ensanche” y “Cancelón” tanto para P total como orgánico, siguiéndose un comportamiento análogo al de las formas de nitrógeno. Los valores medios en ambas cuencas son de 0.1 kg/ha ó 0.55 kg/km·m de red para el P total, de los cuales entre 0.06 – 0.09 kg/ha ó 0.35 – 0.5 kg/km·m de red son de P orgánico proveniente de los sedimentos de la red.

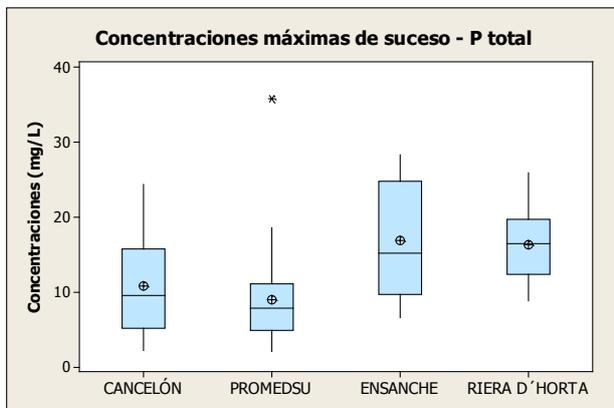


Figura 7-179. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de P total en las cuencas analizadas.

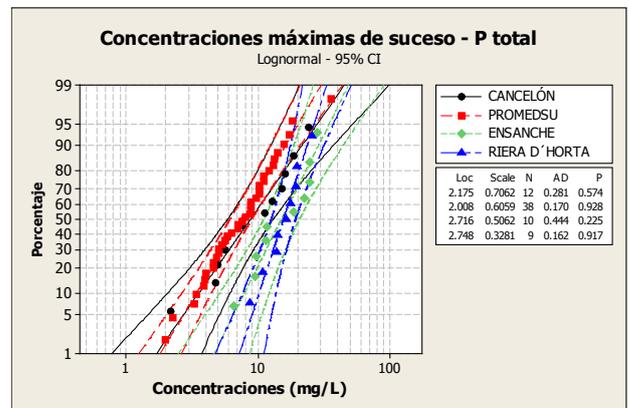


Figura 7-180. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de P total en las cuencas analizadas.

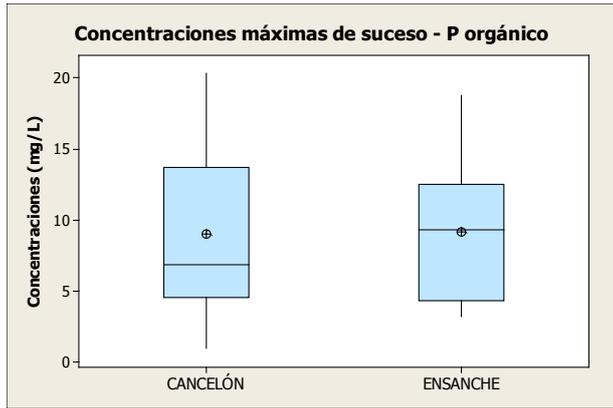


Figura 7-181. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de P orgánico en las cuencas analizadas.

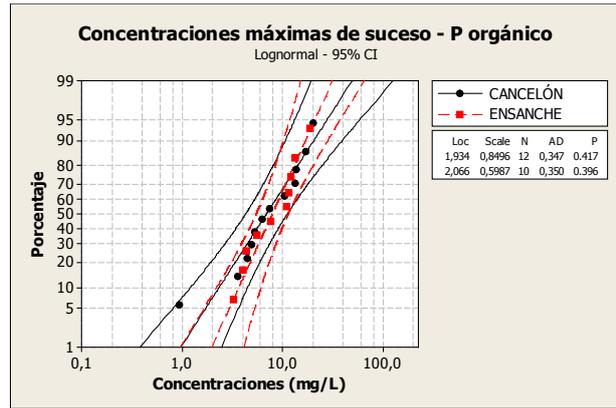


Figura 7-182. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de P orgánico en las cuencas analizadas.

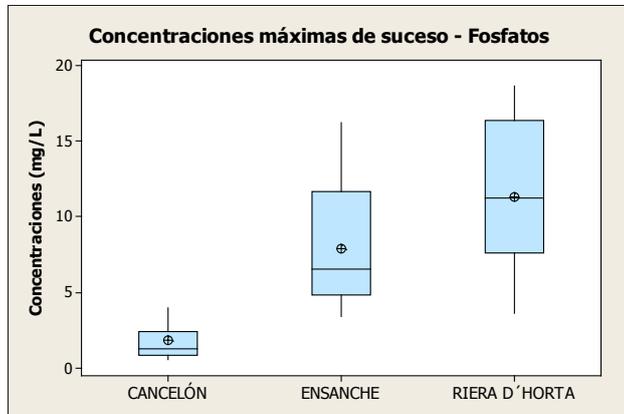


Figura 7-183. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de fosfatos en las cuencas analizadas.

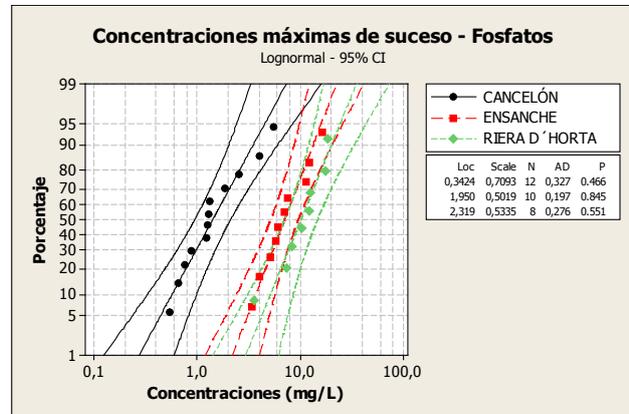


Figura 7-184. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de fosfatos en las cuencas analizadas.

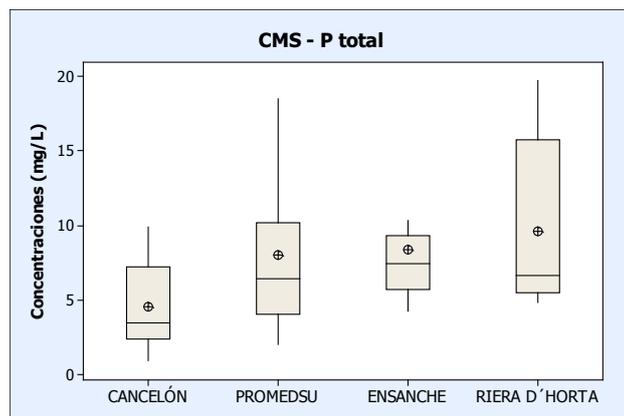


Figura 7-185. Diagramas de distribución de datos para las CMS de P total en las cuencas analizadas.

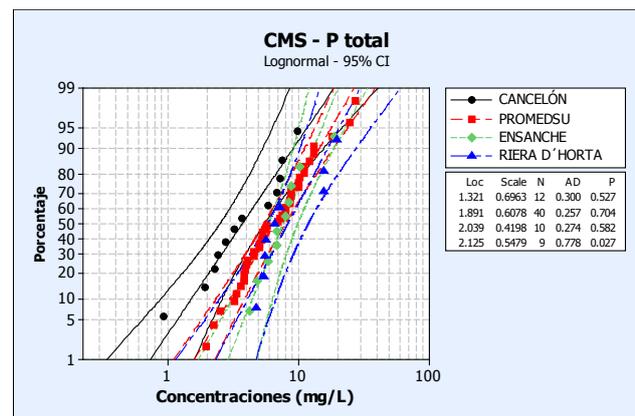


Figura 7-186. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de P total en las cuencas analizadas.

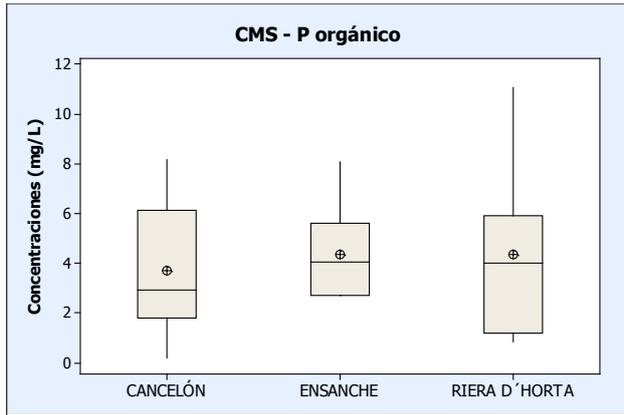


Figura 7-187. Diagramas de distribución de datos para las CMS de P orgánico en las cuencas analizadas.

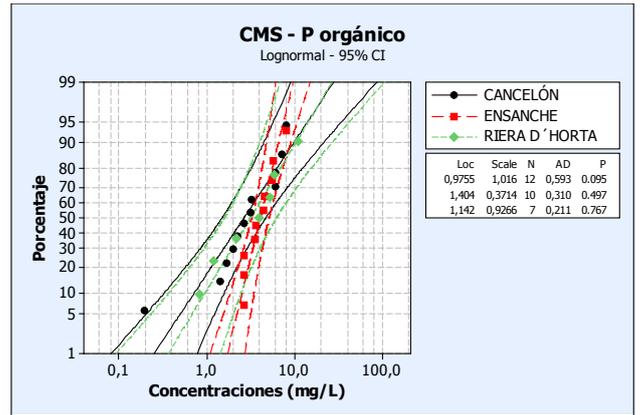


Figura 7-188. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de P orgánico en las cuencas analizadas.

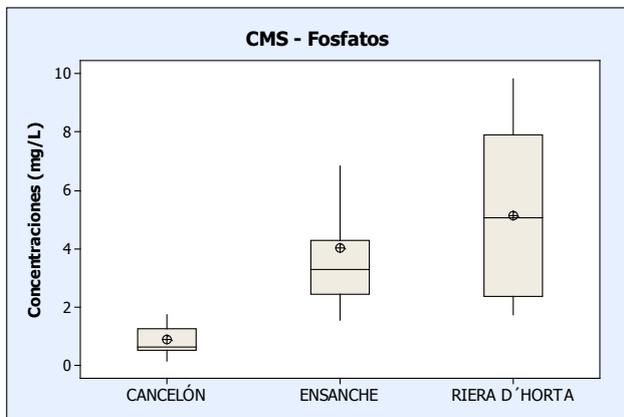


Figura 7-189. Diagramas de distribución de datos para las CMS de fosfatos en las cuencas analizadas.

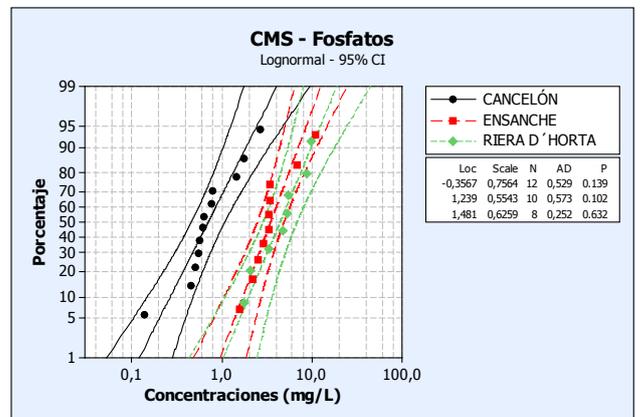


Figura 7-190. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de fosfatos en las cuencas analizadas.

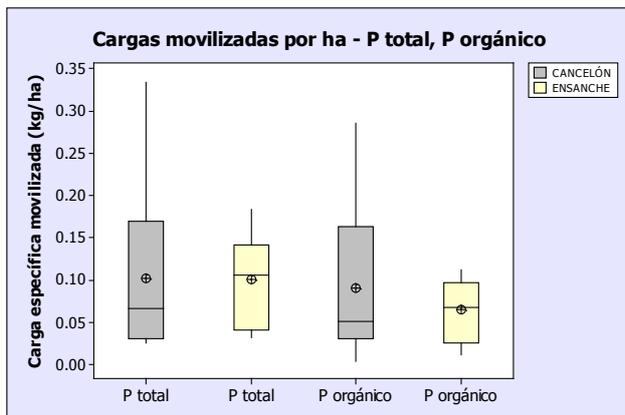


Figura 7-191. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por ha de P total y orgánico en las cuencas analizadas.

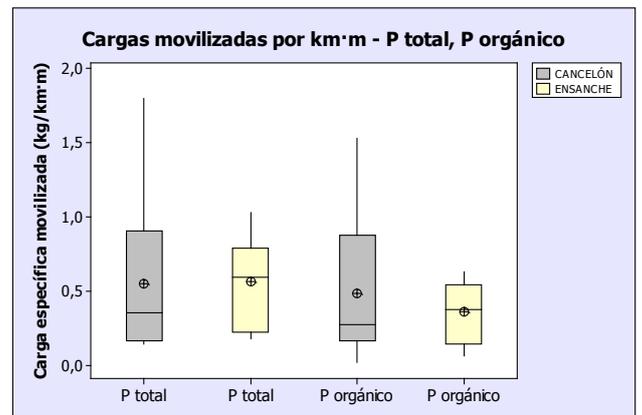


Figura 7-192. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por km²·m de P total y orgánico en las cuencas analizadas.

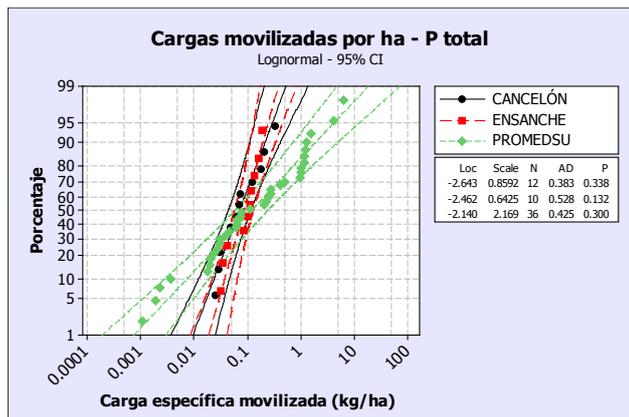


Figura 7-193. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de P total en las cuencas analizadas.

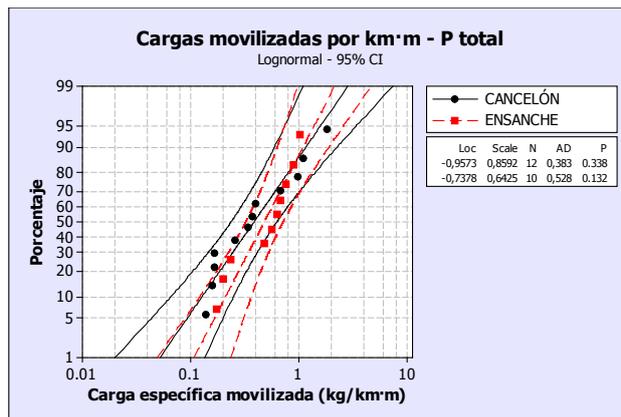


Figura 7-194. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por km²·m de P total en las cuencas analizadas.

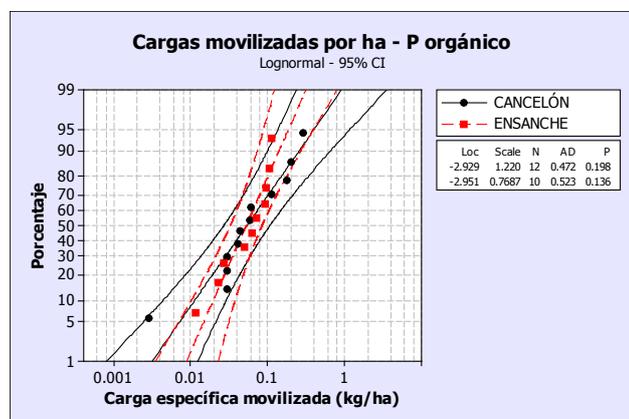


Figura 7-195. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de P orgánico en las cuencas analizadas.

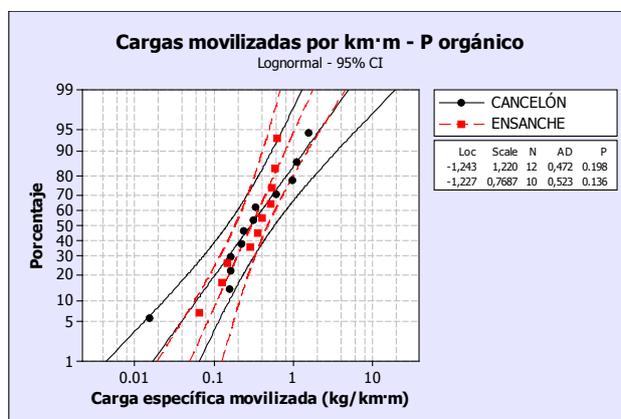


Figura 7-196. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por km²·m de P orgánico en las cuencas analizadas.

7.4.3.5. Sólidos y turbidez

7.4.3.5.1. Análisis de CMAX, CMS y CMOV en los sucesos muestreados

Los resultados obtenidos en el análisis de los datos de sólidos y turbidez son los siguientes:

- ✓ Las CMAX medias para los ST, SS y SSV se sitúan en torno a 1800, 1500 y 1300 mg/L respectivamente; esto da una idea clara de que la contaminación de las aguas pluviales mixtas de la parte inicial de los hidrogramas de los sucesos de lluvia se debe, fundamentalmente, a los sedimentos resuspendidos a lo largo de la red unitaria, los cuales son, en su gran mayoría, de naturaleza orgánica.
- ✓ Los valores de CMS media para los ST, SS y SSV son de 800, 550 y 400 mg/L respectivamente; esto indica que el grado de concentración del agua pluvial mixta en la cuenca del "Ensanche", en lo que respecta a estos parámetros de contaminación, puede calificarse de "fuerte" o "muy fuerte" (Metcalf & Eddy, 1991).
- ✓ La carga media movilizada de ST se sitúa en torno a los 10-11 kg/ha ó 60 kg/km²·m de red.

- ✓ Las cargas movilizadas de SS comprenden mayoritariamente un rango entre 6 – 11 kg/ha ó 30 – 60 kg/km·m de red, de los cuales entre 4,5 – 9 kg/ha ó 20 – 50 kg/km·m se corresponden a SSV, es decir, en torno al 75% del total, aproximadamente.
- ✓ Las CMAX y CMS medias para la turbidez son, respectivamente, de 500 y 200 NTU.

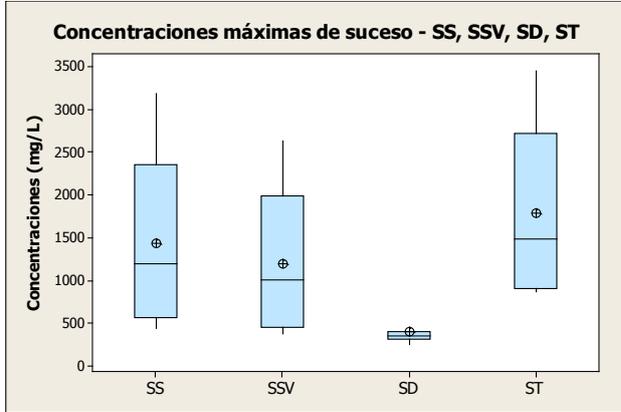


Figura 7-197. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de sólidos.

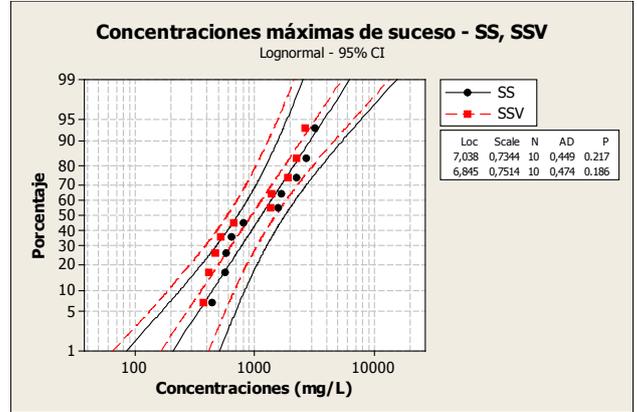


Figura 7-198. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de SS y SSV.

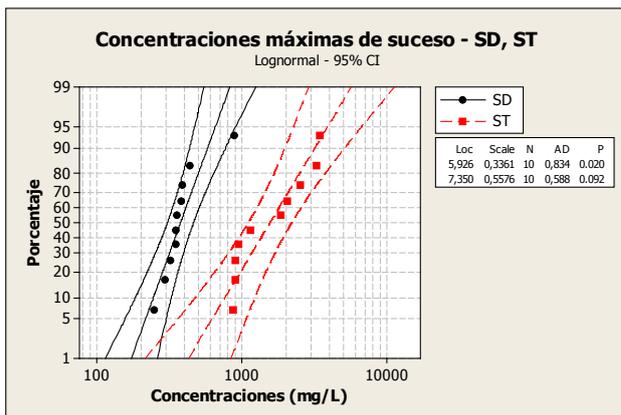


Figura 7-199. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de SD y ST.

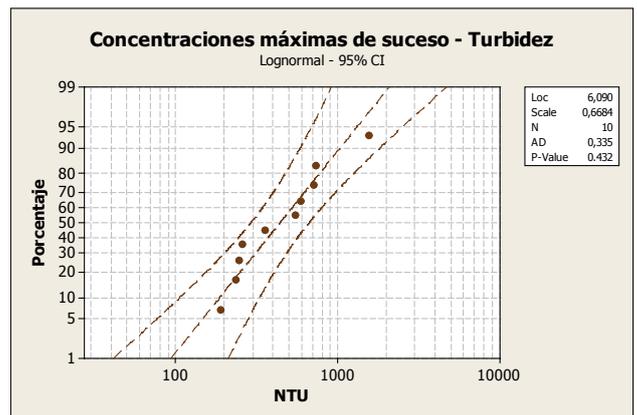


Figura 7-200. Distribución de probabilidad acumulada para las CMAX de turbidez.

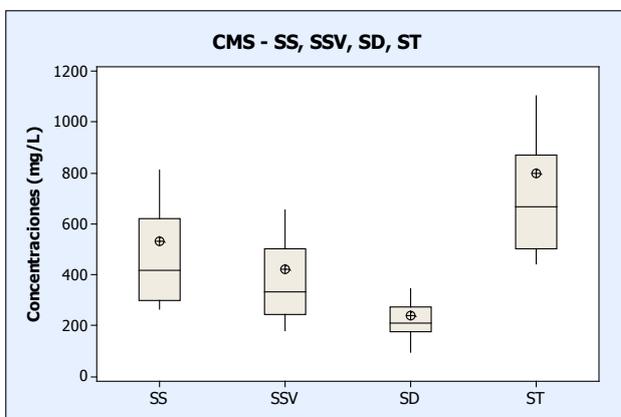


Figura 7-201. Diagramas de distribución de datos para las CMS de sólidos.

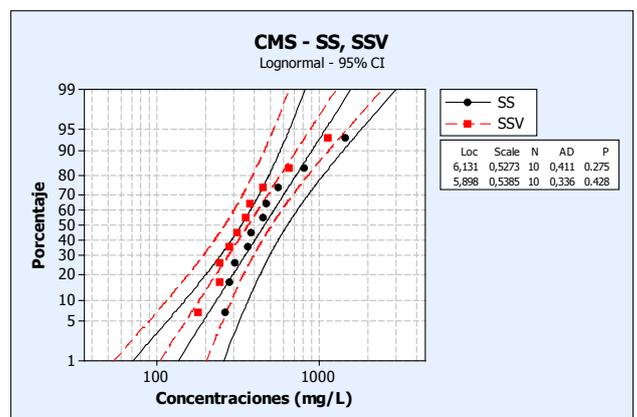


Figura 7-202. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de SS y SSV.

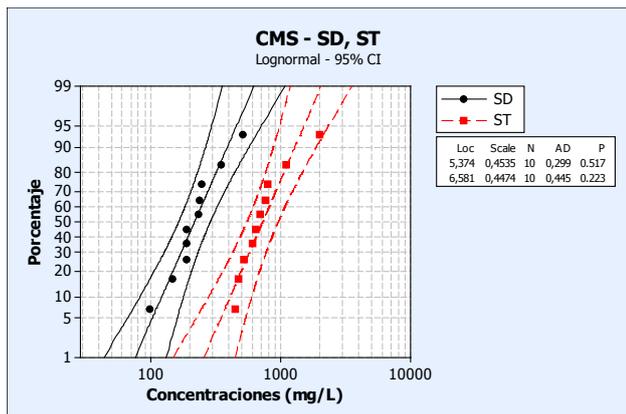


Figura 7-203. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de SD y ST.

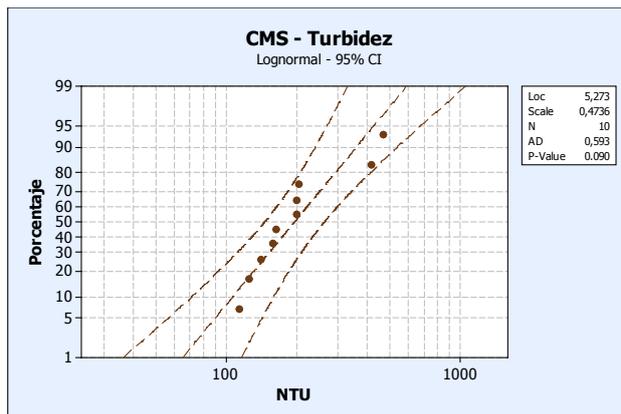


Figura 7-204. Distribución de probabilidad acumulada para las CMS de turbidez.

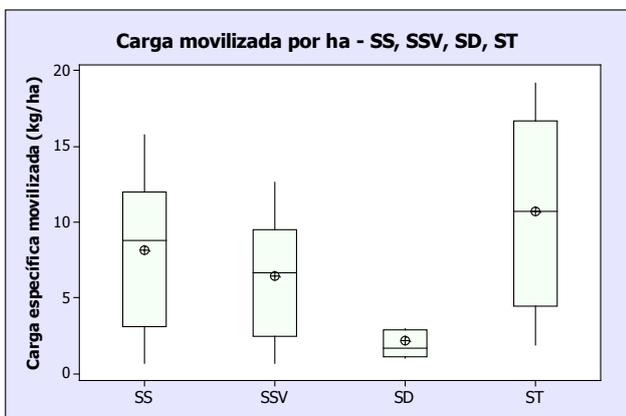


Figura 7-205. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por ha de sólidos.

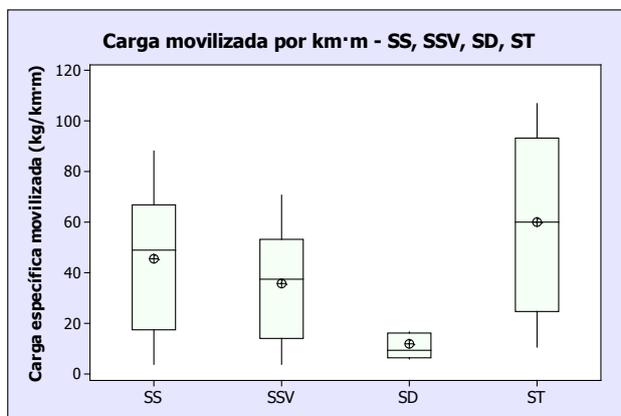


Figura 7-206. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por km² de sólidos.

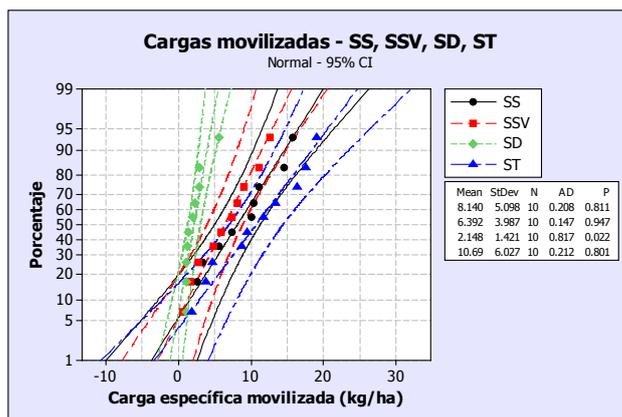


Figura 7-207. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de sólidos.

7.4.3.5.2. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca

Como cabe esperar, los sólidos movilizados en tiempo de lluvia superan la concentración media de tiempo seco en las especies asociadas a la fracción particulada, mientras que los sólidos disueltos movilizados en tiempo seco suponen una concentración mayor. La resuspensión de sedimentos y biopelículas es la causa fundamental de este comportamiento en tiempo de lluvia, junto con el aporte directo de sólidos de la cuenca.

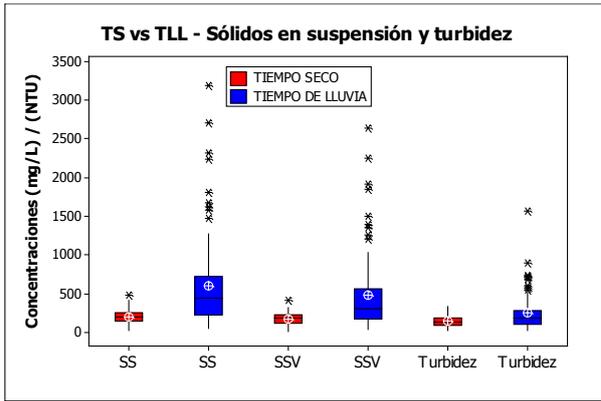


Figura 7-208. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de los SS, SSV y turbidez en tiempo seco y de lluvia.

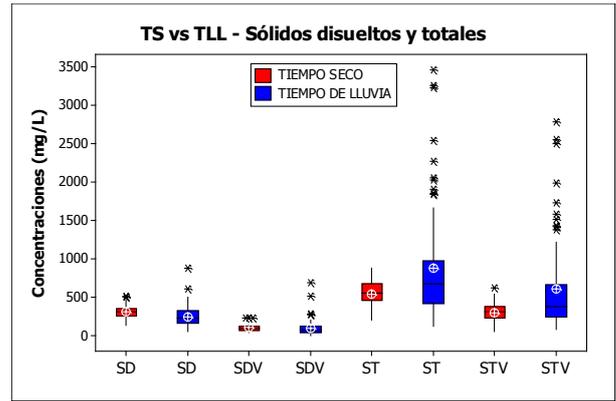


Figura 7-209. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de los SD y ST en tiempo seco y de lluvia.

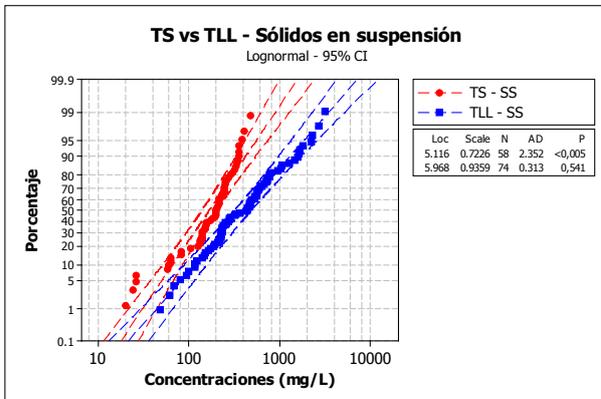


Figura 7-210. Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de SS en tiempo seco y de lluvia.

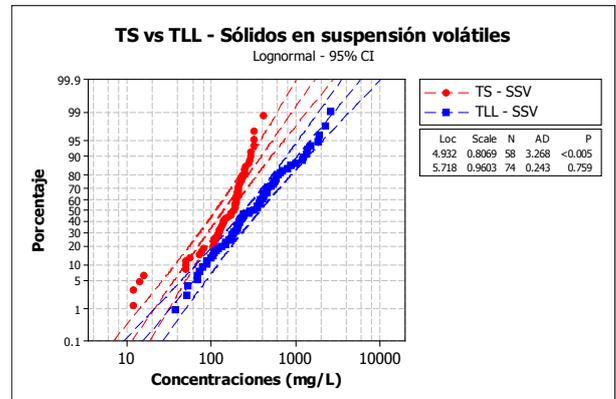


Figura 7-211. Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de SSV en tiempo seco y de lluvia.

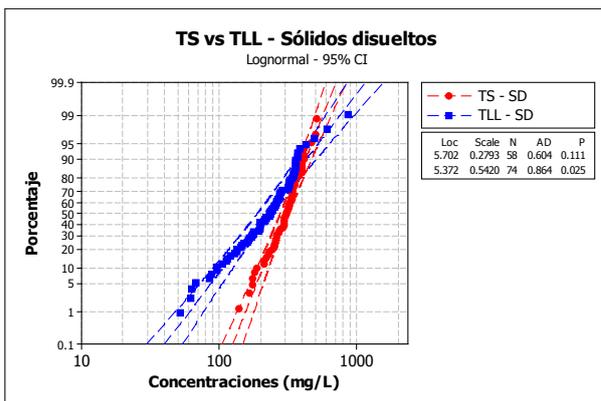


Figura 7-212. Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de SD en tiempo seco y de lluvia.

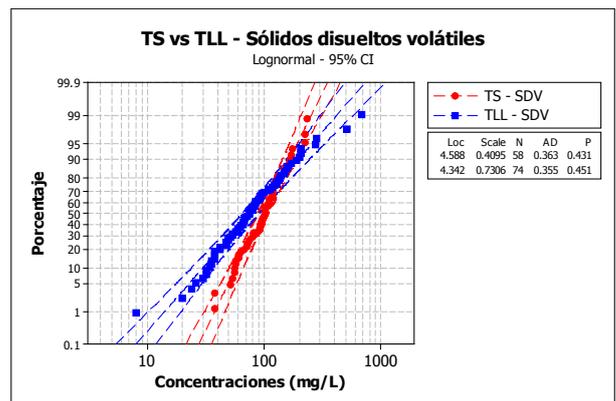


Figura 7-213. Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de SDV en tiempo seco y de lluvia.

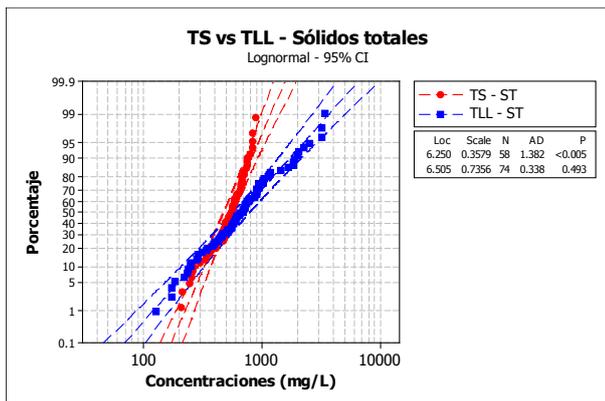


Figura 7-214. Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de ST en tiempo seco y de lluvia.

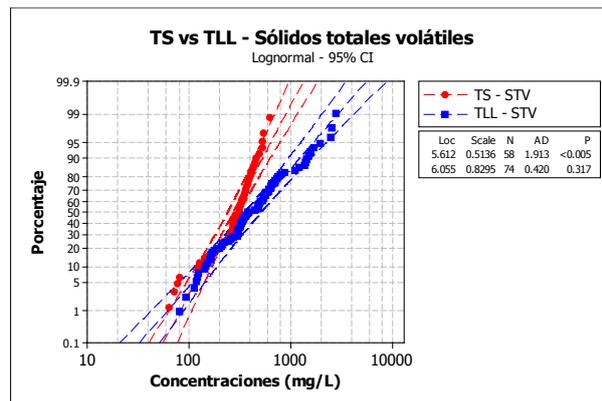


Figura 7-215. Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de STV en tiempo seco y de lluvia.

7.4.3.5.3. Comparación de CMAX, CMS Y CMOV con otras cuencas estudiadas

De la comparación de los resultados obtenidos en cuanto a sólidos en las cuencas analizadas se extraen las siguientes conclusiones:

- ✓ Se observa que los valores asociados a las concentraciones máximas y medias de suceso para los sólidos en suspensión son similares entre las cuencas del PROMEDSU y “Ensanche”; los valores de concentraciones mayores halladas en “Riera d’Horta” son justificables debido a una mayor capacidad de retención de sedimentos de la red de Barcelona; la cuenca semirural de “Cancelón” con infiltración en la red refleja resultados claramente inferiores.
- ✓ En cuanto a referencias cuantitativas cabe señalar que las CMAX medias para los sólidos en suspensión son, aproximadamente, de 2000 mg/L para “Riera d’Horta”, 1500 mg/L para “Ensanche” y PROMEDSU con una mayor dispersión de los datos en el primer caso y, por último, en “Cancelón”, varían entre 500 – 1000 mg/L. Las CMS siguen la misma tendencia observada con las CMAX, los valores medios en este caso son de 1000 mg/L en “Riera d’Horta”, >500 mg/L para “Ensanche” y PROMEDSU y en torno a los 300 mg/L para “Cancelón”.
- ✓ Al igual que en el caso de los SS, los valores de SSV en las cuencas de “Ensanche” y PROMEDSU son similares y representan un alto porcentaje de los SS, en “Riera d’Horta” no se ha medido este parámetro.
- ✓ Las concentraciones de sólidos totales vienen condicionadas, principalmente, por los sólidos en suspensión, cuya tendencia ya ha sido comentada anteriormente, los valores máximos medios en “Riera d’Horta” se sitúan en torno a los 2500 mg/L, en “Ensanche” sobre los 1500 – 2000 mg/L y en “Cancelón” de 1000 mg/L; las CMS medias respectivas son 1200, 800 y 450 mg/L.
- ✓ La fracción disuelta supone un pequeño porcentaje del total.

- ✓ Los valores de turbidez siguen el mismo patrón que en el caso de los SS; los valores son superiores en “Riera d’Horta” con respecto a “Ensanche” y Promedsu, éstos con comportamiento similar. Los resultados reflejan unas CMAX medias superiores a 1000 NTU en el caso de la cuenca catalana, mientras que en “Ensanche” son aproximadamente la mitad de la anterior (>500 NTU), en el caso de las cuencas de PROMEDSU se obtienen unos 350 NTU. Si se analizan las CMS medias, los valores de “Riera” son de 600 NTU por los 200 NTU de PROMEDSU y “Ensanche”.
- ✓ La conclusión más importante que se puede extraer del análisis de las concentraciones de sólidos obtenidas en las cuencas estudiadas es que el agua pluvial mixta en las cuencas urbanas con sistemas de saneamiento y drenaje unitario contiene un grado de contaminación en sólidos en suspensión y totales al menos similar al de un agua residual de concentración media típica, pudiendo llegar, en determinados sucesos de carácter muy energético y con un elevado tiempo seco precedente, a obtenerse puntas de contaminación en sólidos en suspensión 10 veces superiores a las de tiempo seco y unas CMS en torno a 2,5 – 3 veces superiores a las concentraciones medias diarias de tiempo seco en el caso de la cuenca del “Ensanche”.

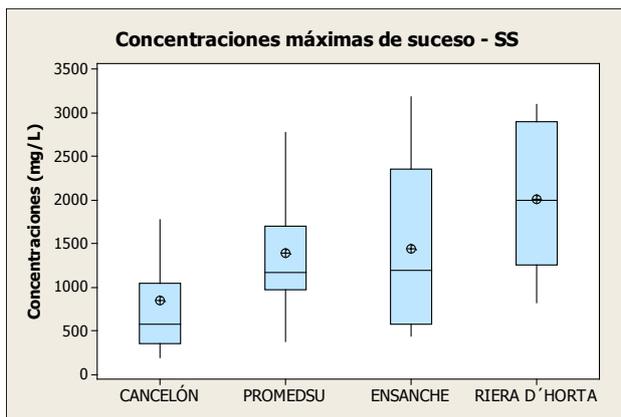


Figura 7-216. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de SS en las cuencas analizadas.

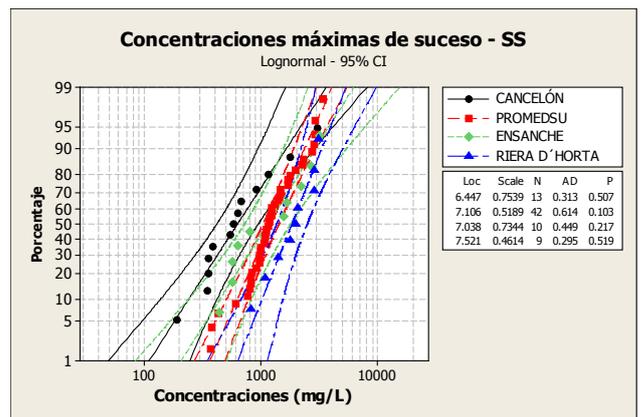


Figura 7-217. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de SS en las cuencas analizadas.

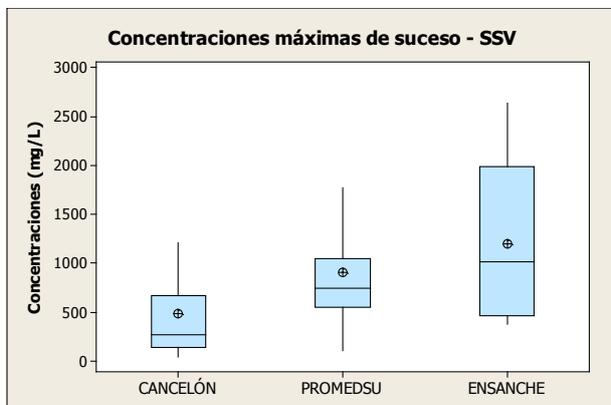


Figura 7-218. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de SSV en las cuencas analizadas.

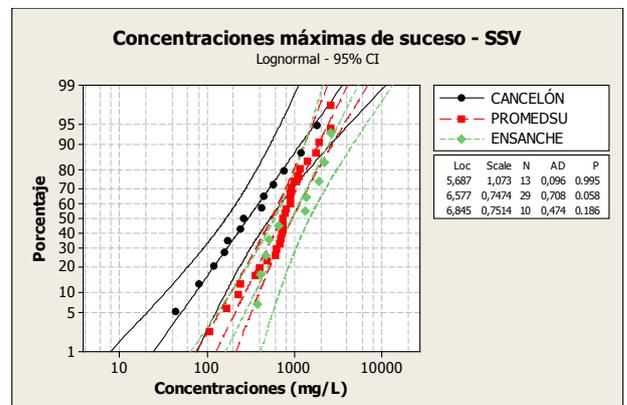


Figura 7-219. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de SSV en las cuencas analizadas.

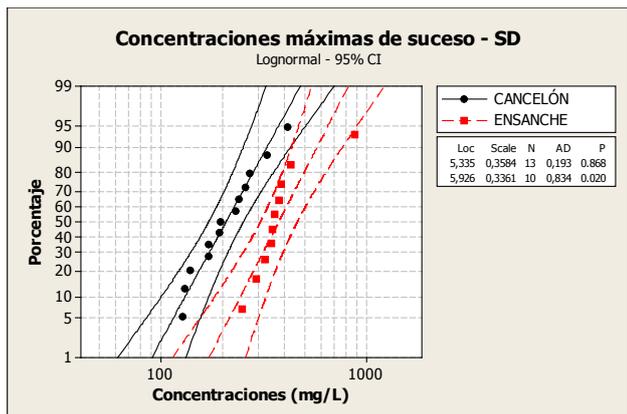


Figura 7-220. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de SD en las cuencas analizadas.

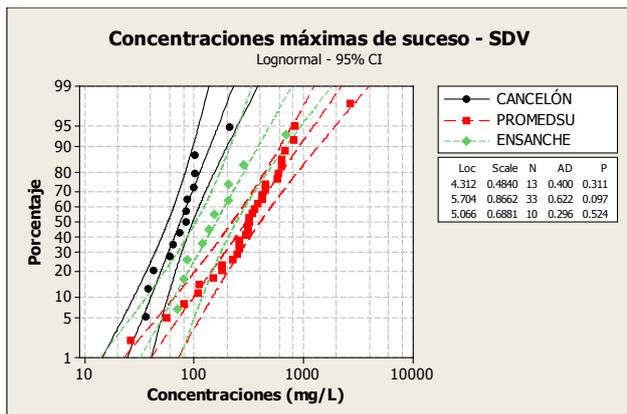


Figura 7-221. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de SDV en las cuencas analizadas.

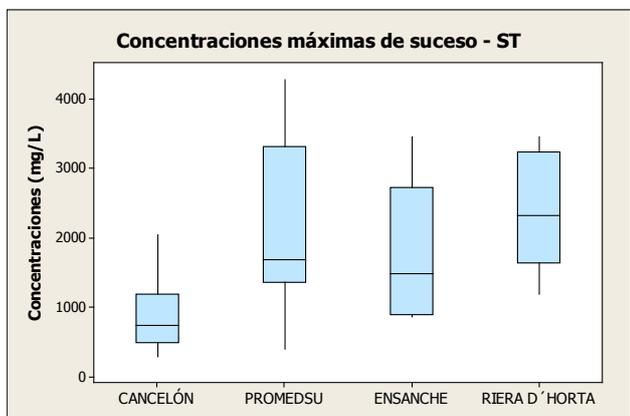


Figura 7-222. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de ST en las cuencas analizadas.

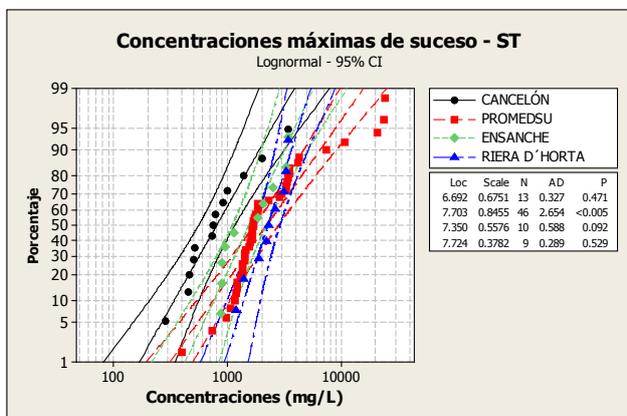


Figura 7-223. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de ST en las cuencas analizadas.

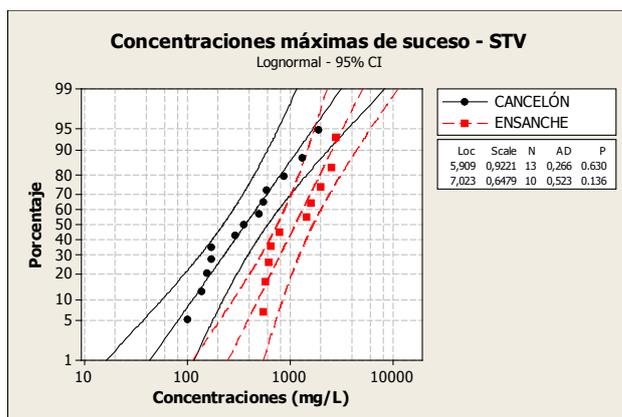


Figura 7-224. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de STV en las cuencas analizadas.

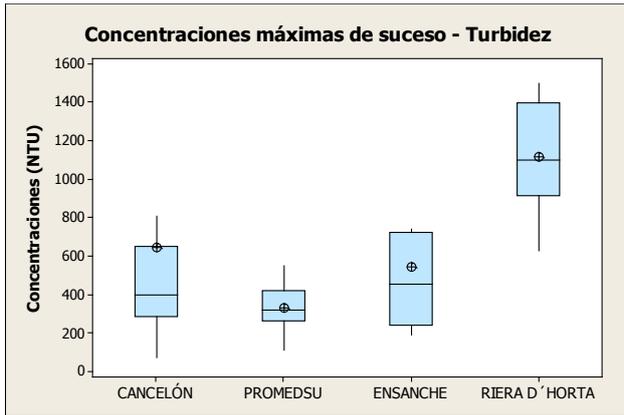


Figura 7-225. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de turbidez en las cuencas analizadas.

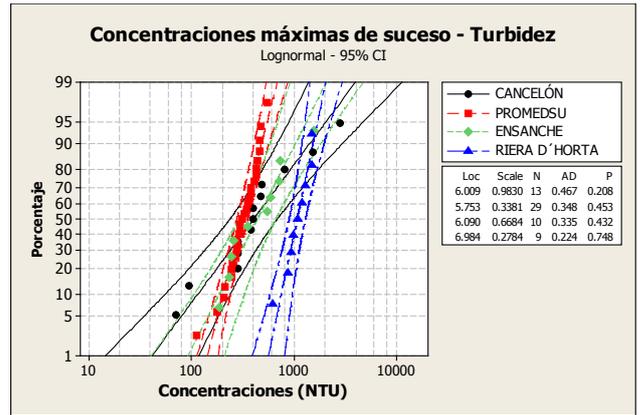


Figura 7-226. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de turbidez en las cuencas analizadas.

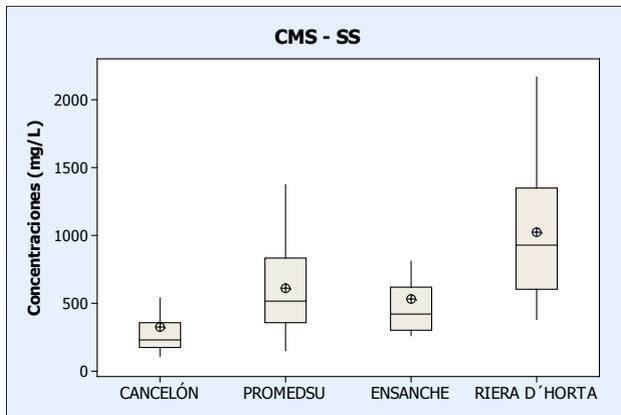


Figura 7-227. Diagramas de distribución de datos para las CMS de SS en las cuencas analizadas.

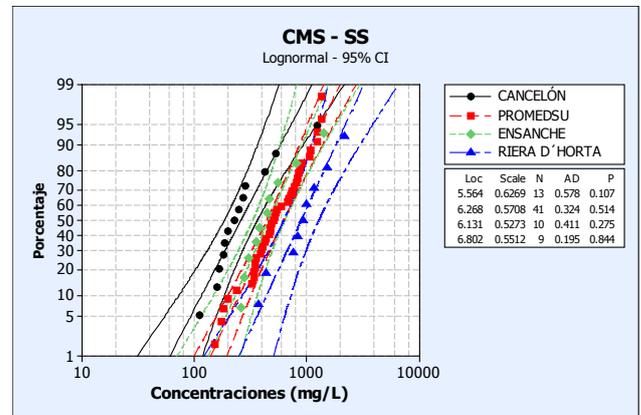


Figura 7-228. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de SS en las cuencas analizadas.

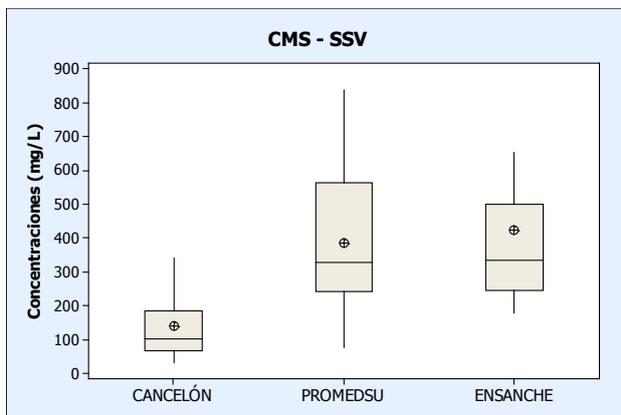


Figura 7-229. Diagramas de distribución de datos para las CMS de SSV en las cuencas analizadas.

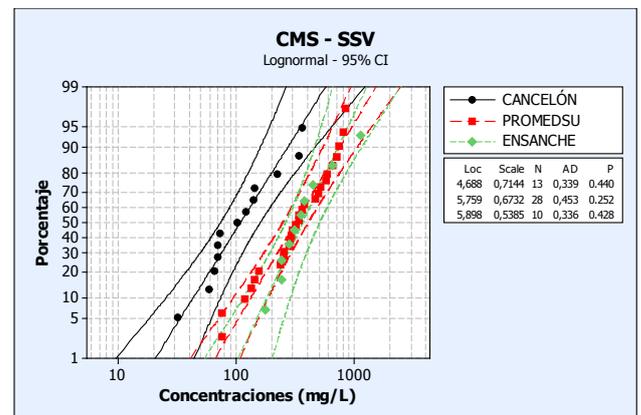


Figura 7-230. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de SSV en las cuencas analizadas.

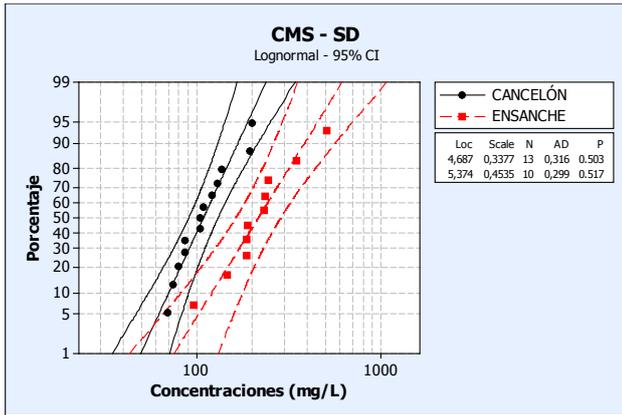


Figura 7-231. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de SD en las cuencas analizadas.

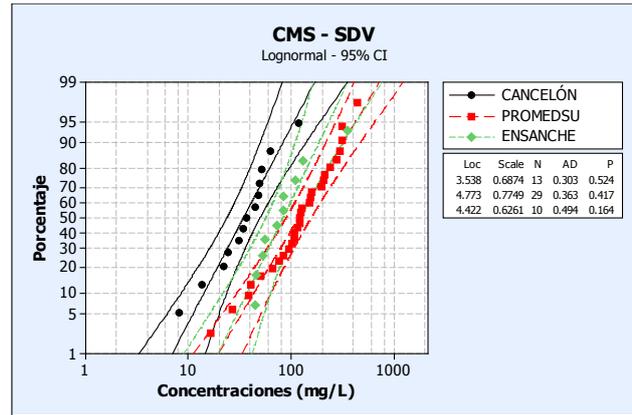


Figura 7-232. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de SDV en las cuencas analizadas.

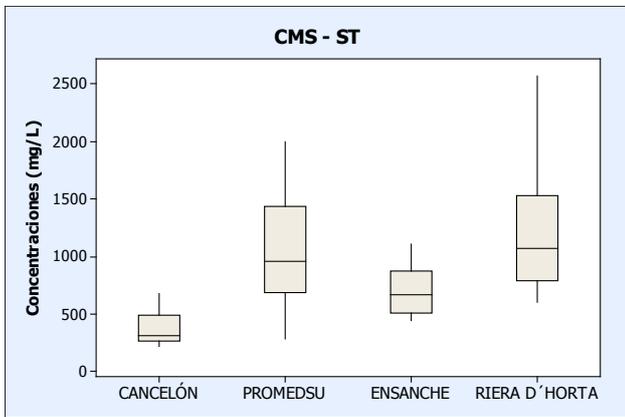


Figura 7-233. Diagramas de distribución de datos para las CMS de ST en las cuencas analizadas.

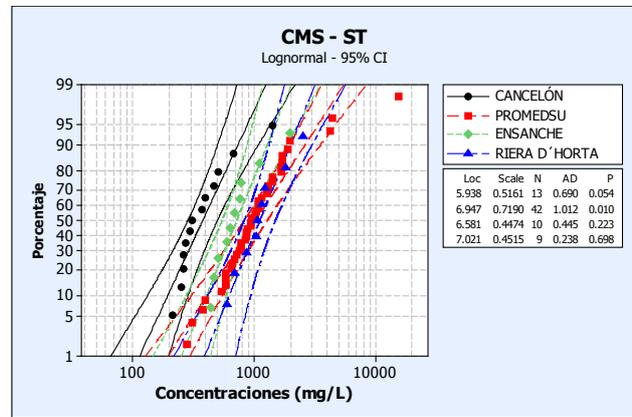


Figura 7-234. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de ST en las cuencas analizadas.

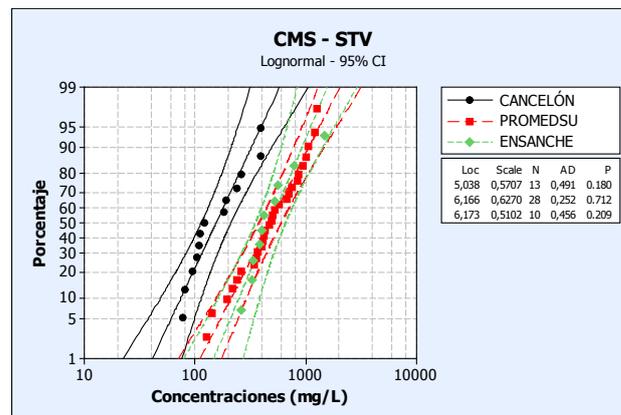


Figura 7-235. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de STV en las cuencas analizadas.

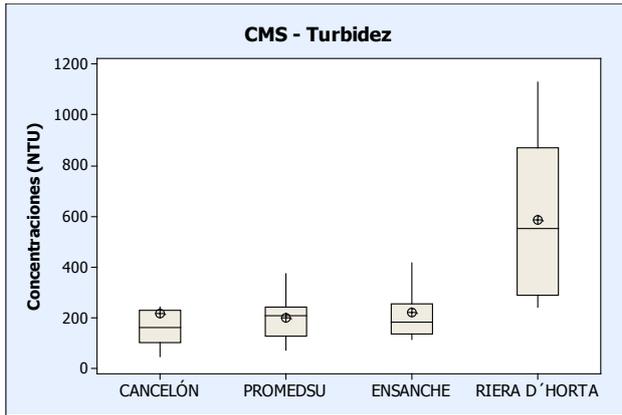


Figura 7-236. Diagramas de distribución de datos para las CMS de turbidez en las cuencas analizadas.

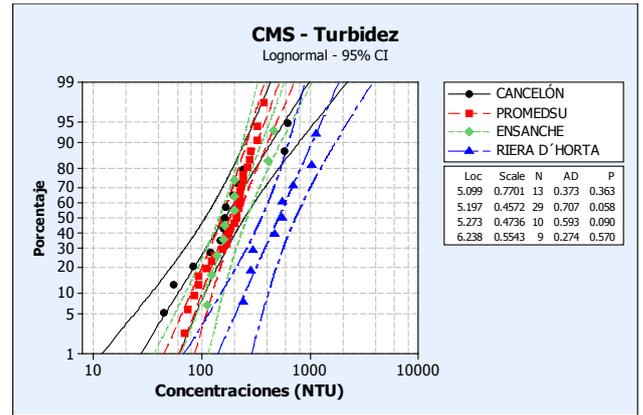


Figura 7-237. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de turbidez en las cuencas analizadas.

Si se comparan las cargas de sólidos movilizadas entre las cuencas de “Ensanche” y “Cancelón” pueden observarse las siguientes tendencias:

- ✓ Los resultados de cargas específicas movilizadas tanto para las ratios por hectárea neta como por km-m de red son muy similares.
- ✓ Las cargas específicas movilizadas de SS, SD, SDV y ST son muy similares en ambas cuencas. Sin embargo, en el caso de los SSV las ratios son mayores en la cuenca de “Ensanche” debido a la alta biodegradabilidad de los sedimentos depositados en su red.

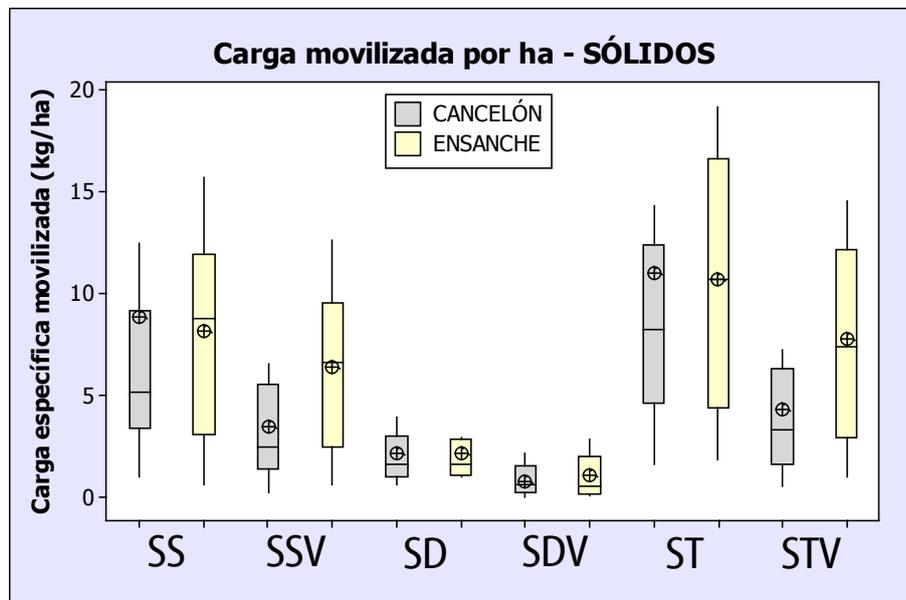


Figura 7-238. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por ha de sólidos en las cuencas “Cancelón” y “Ensanche”.

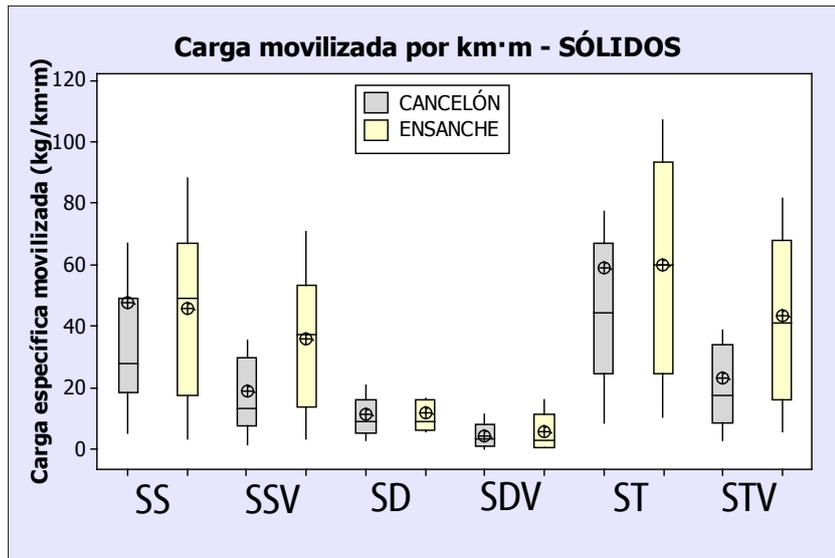


Figura 7-239. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por km²·m de sólidos en las cuencas “Cancelón” y “Ensanche”.

La comparación de la distribución de los datos de cargas movilizadas por superficie de SS, SSV, SDV y STV en las cuencas compostelanas (“Cancelón” y Ensanche”) con los valores agregados del PROMEDSU muestra una buena concordancia para las fracciones volátiles. No obstante, cabe mencionar una mayor movilización de SS en el PROMEDSU.

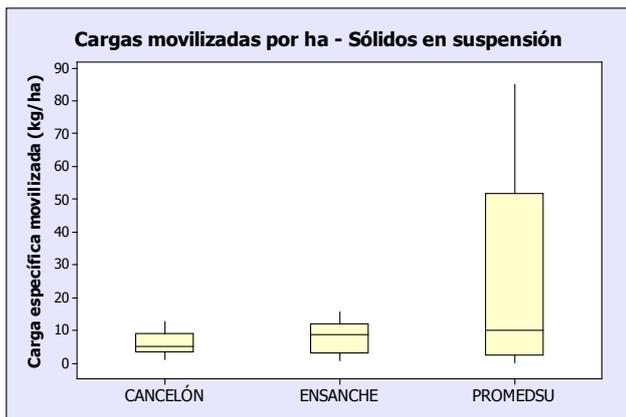


Figura 7-240. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por ha de sólidos en suspensión en las cuencas analizadas.

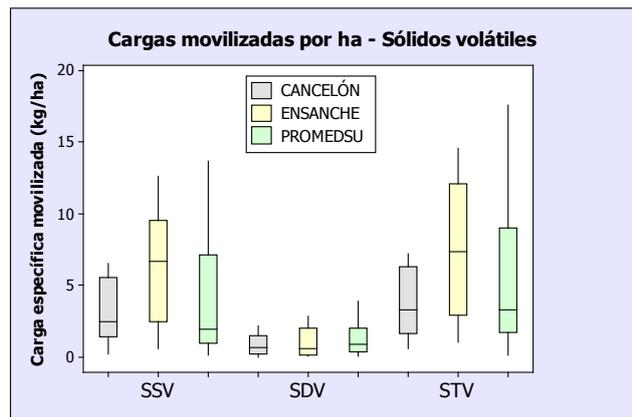


Figura 7-241. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por ha de sólidos volátiles en las cuencas analizadas.

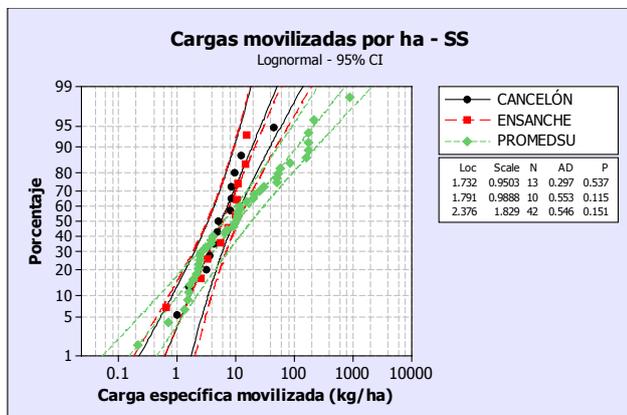


Figura 7-242. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de SS en las cuencas analizadas.

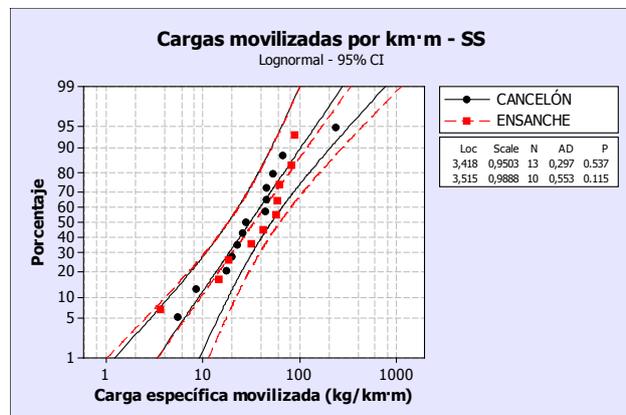


Figura 7-243. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por km²·m de SS en las cuencas analizadas.

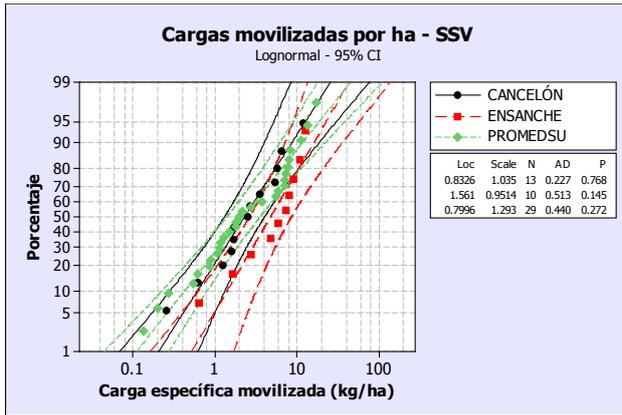


Figura 7-244. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de SSV en las cuencas analizadas.

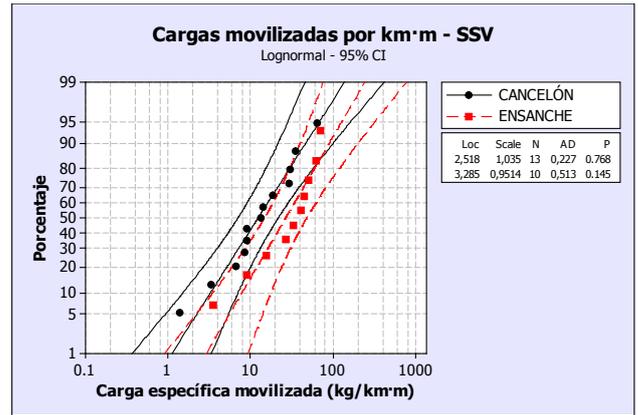


Figura 7-245. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por km² de SSV en las cuencas analizadas.

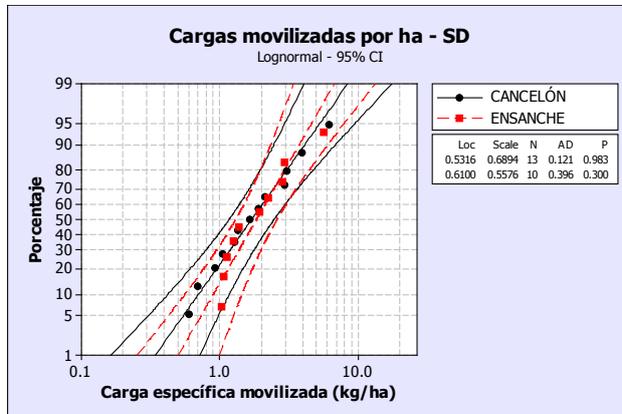


Figura 7-246. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de SD en las cuencas analizadas.

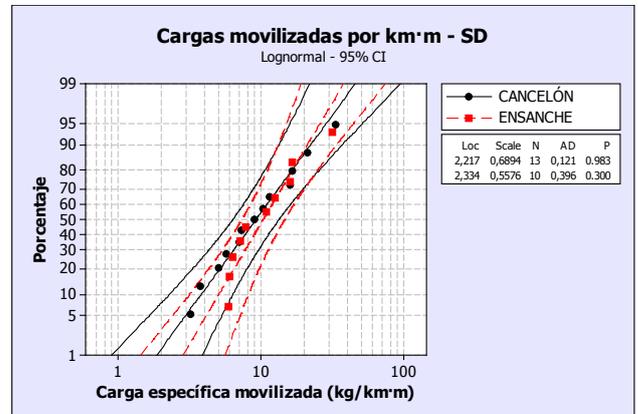


Figura 7-247. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por km² de SD en las cuencas analizadas.

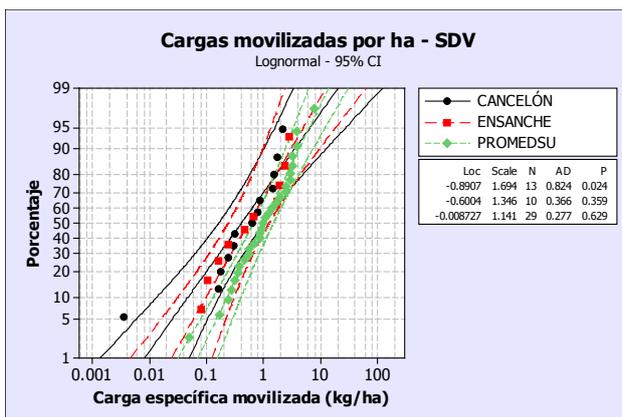


Figura 7-248. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de SDV en las cuencas analizadas.

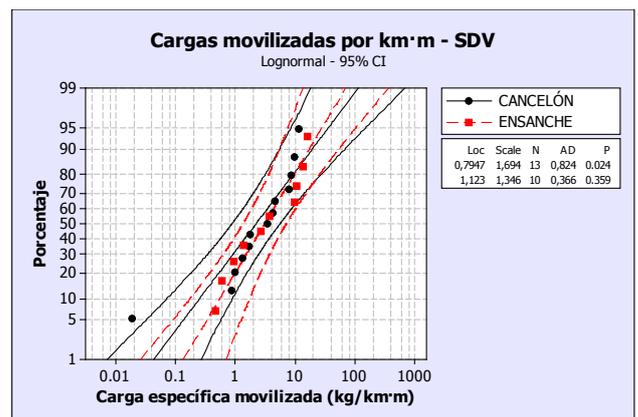


Figura 7-249. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por km² de SDV en las cuencas analizadas.

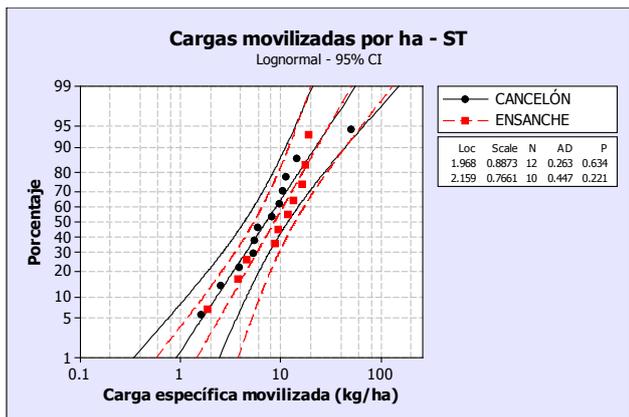


Figura 7-250. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de ST en las cuencas analizadas.

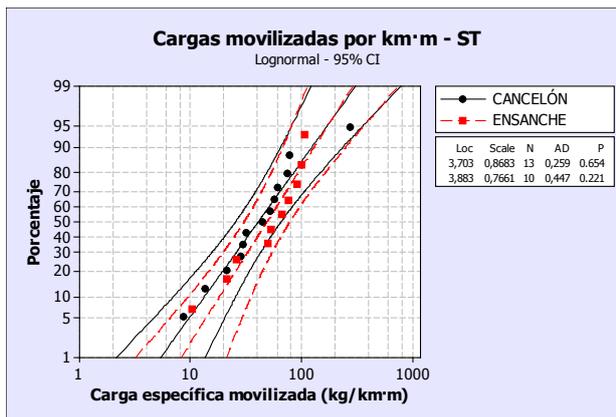


Figura 7-251. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por km²·m de ST en las cuencas analizadas.

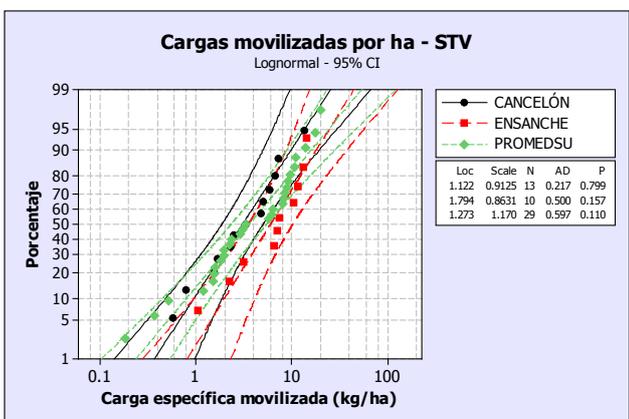


Figura 7-252. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de STV en las cuencas analizadas.

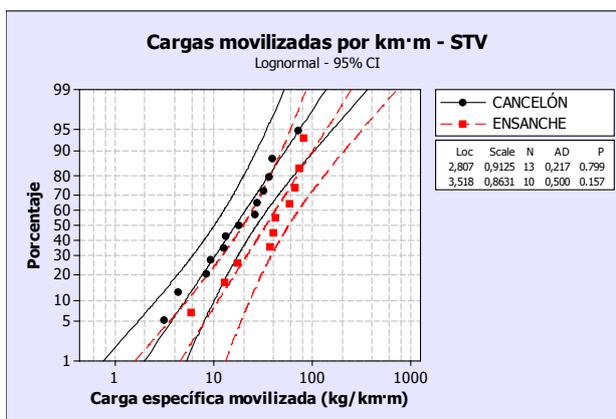


Figura 7-253. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por km²·m de STV en las cuencas analizadas.

7.4.3.6. Bacteriología

7.4.3.6.1. Análisis de CMAX y CMS en los sucesos muestreados

Los niveles de contaminación bacteriológica en el caso del “Ensanche” se encajan en el entorno 10^7 - 10^8 UFC/100 mL de CF como puede observarse en las distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX y CMS.

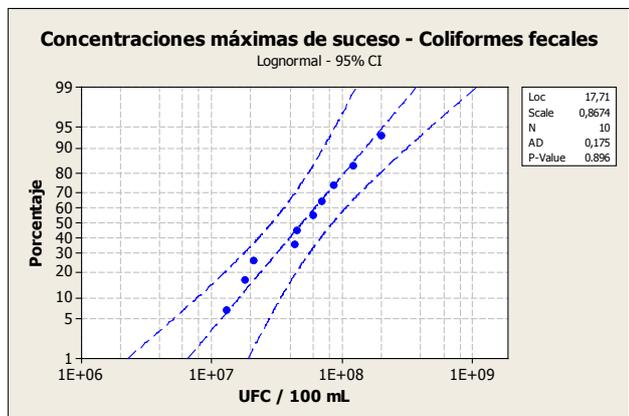


Figura 7-254. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de coliformes fecales.

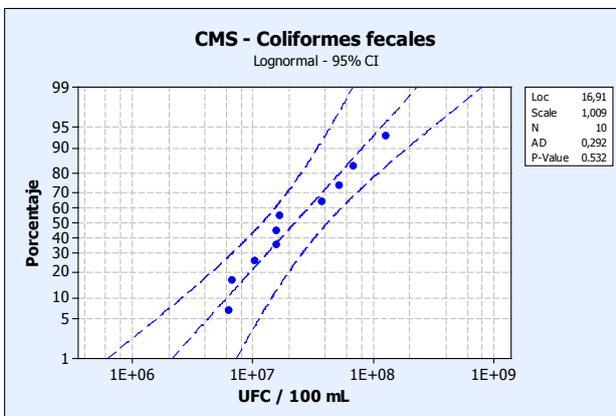


Figura 7-255. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de coliformes fecales.

7.4.3.6.2. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca

De la comparación entre las concentraciones de CF obtenidas en la cuenca, tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia, pueden extraerse dos claras conclusiones:

La concentración mínima de CF analizada en tiempo de lluvia no desciende de 10^6 unidades formadoras de colonias por cada 100 mL.

La diferencia de concentración de contaminación bacteriológica por CF esperada entre el tiempo seco y de lluvia no supera el orden de magnitud logarítmico como se aprecia en la figura siguiente.

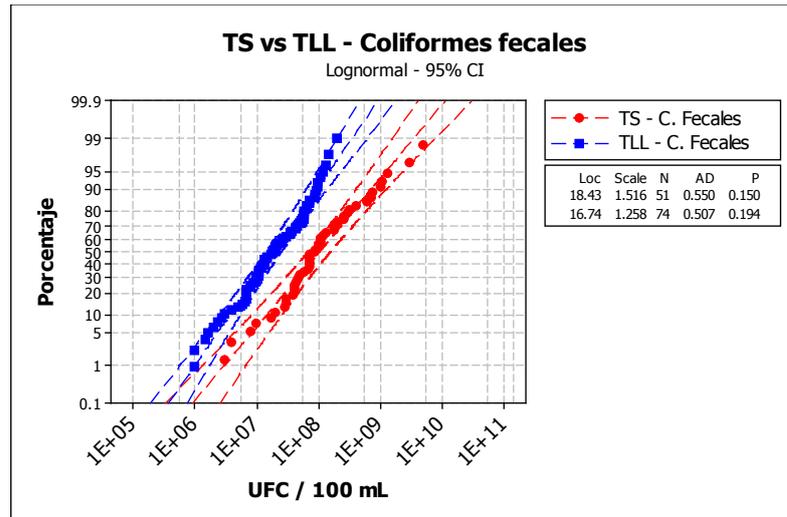


Figura 7-256. Distribución de probabilidad acumulada para las concentraciones de coliformes fecales en tiempo seco y de lluvia.

7.4.3.6.3. Comparación de CMAX y CMS con otras cuencas estudiadas

Los resultados de indicadores microbiológicos en aguas pluviales mixtas de otras cuencas españolas reflejan la concordancia en los valores con los obtenidos en el "Ensanche". Las concentraciones medias de suceso tanto de coliformes fecales como de E. coli oscilan entre 10^6 y 10^8 UFC ó NMP por cada 100 mL, tal y como se refleja en la figura 7-258.

Un valor de referencia para las CMS de CF en aguas pluviales de red unitaria puede establecerse en 10^7 UFC/100 mL.

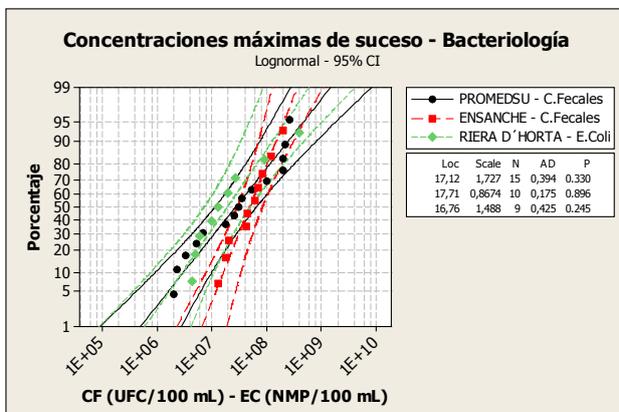


Figura 7-257. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de indicadores microbiológicos en las cuencas analizadas.

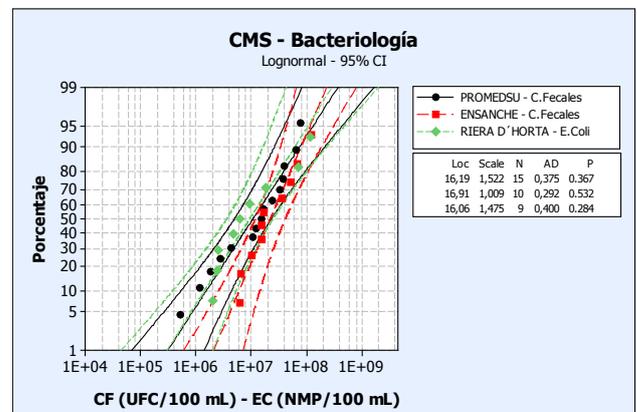


Figura 7-258. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de indicadores microbiológicos en las cuencas analizadas.

7.4.3.7. Metales

7.4.3.7.1. Análisis de CMAX, CMS y CMOV en los sucesos muestreados

Del análisis de los resultados obtenidos para los metales seleccionados pueden extraerse las siguientes conclusiones que se reflejan en la siguiente tabla.

Tabla 7-22. CMAX, CMS y CMOV medias para los metales seleccionados en el "Ensanche".

Metal	CMAX media	CMS media	CMOV media	
			Por ha	Por km-m
Aluminio	10 mg/L	4 mg/L	70 g	0.4 kg
Cromo, Níquel	20 – 25 µg/L	10 µg/L	200 mg	1 g
Arsénico	6 µg/L	4 µg/L	60 mg	0.4 g
Cobre	1 mg/L	300 - 400 µg/L	7 g	40 g
Manganeso	200 µg/L	100 µg/L	1.5 g	10 g
Plomo	250 - 300 µg/L		2 g	10 g
Zinc	600 µg/L	300 µg/L	5 g	30 g

El tratamiento estadístico de los metales seleccionados y del que se ha extraído la tabla resumen anterior se presenta a continuación.

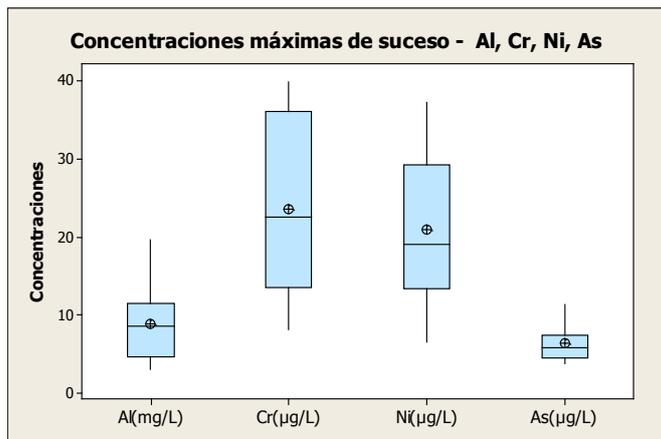


Figura 7-259. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de Al, Cr, Ni y As.

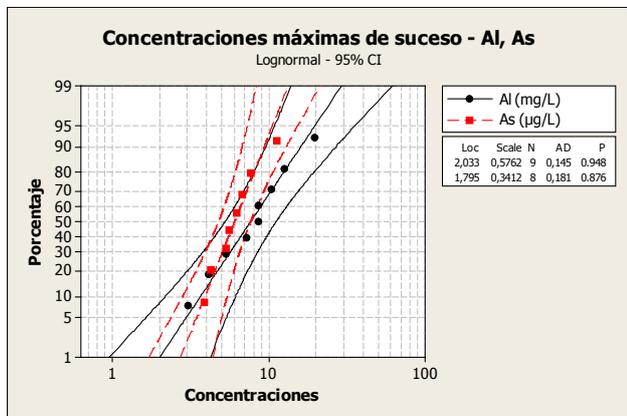


Figura 7-260. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de Al y As.

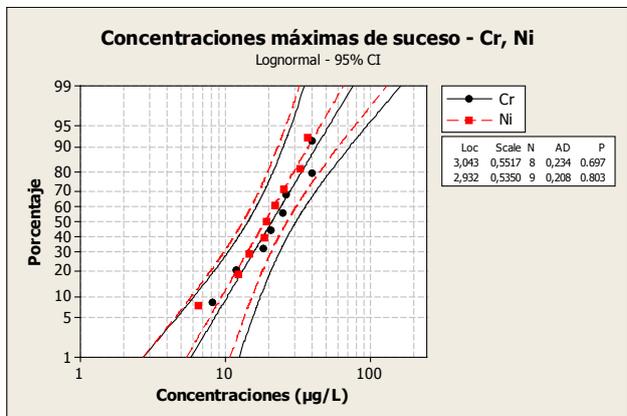


Figura 7-261. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de Cr y Ni.

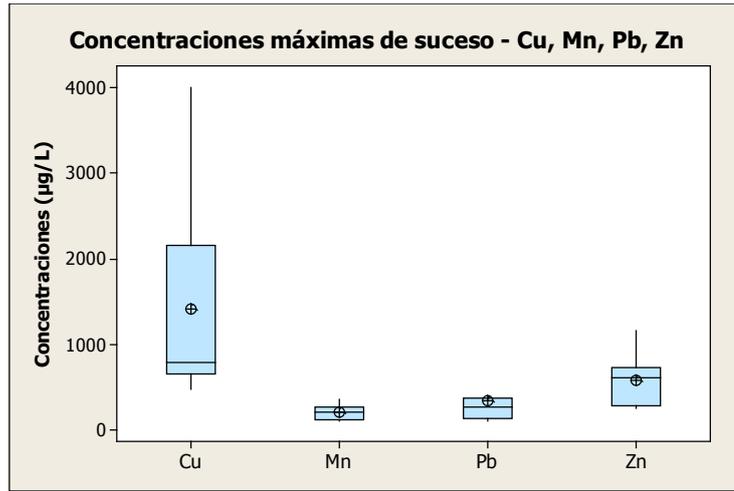


Figura 7-262. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de Cu, Mn, Pb y Zn.

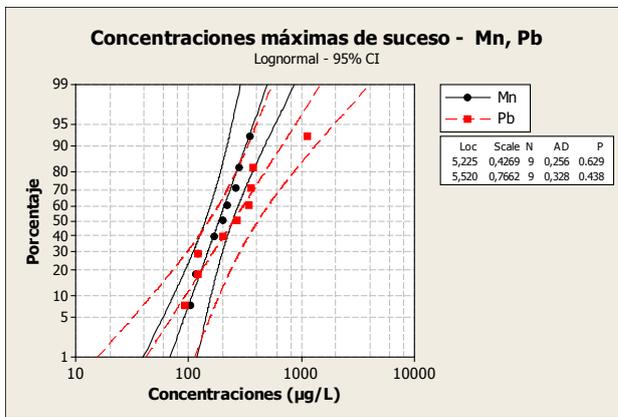


Figura 7-263. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de Mn y Pb.

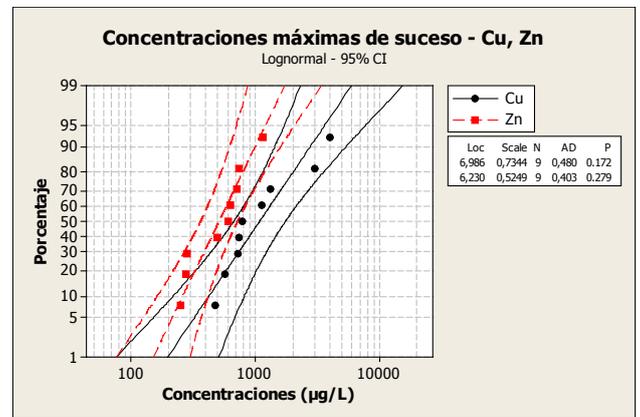


Figura 7-264. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de Cu y Zn.

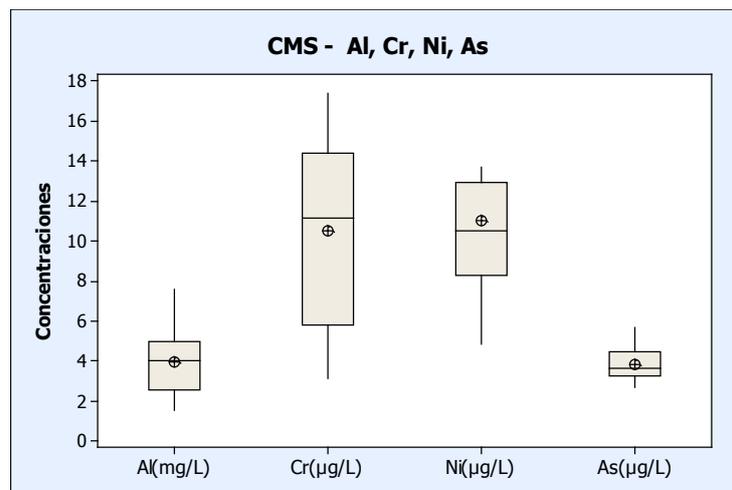


Figura 7-265. Diagramas de distribución de datos para las CMS de Al, Cr, Ni y As.

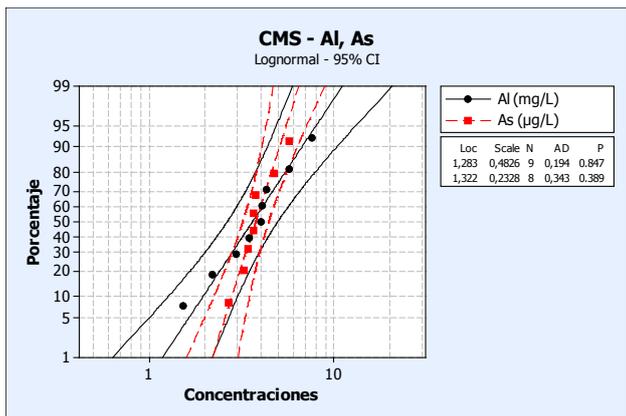


Figura 7-266. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de Al y As.

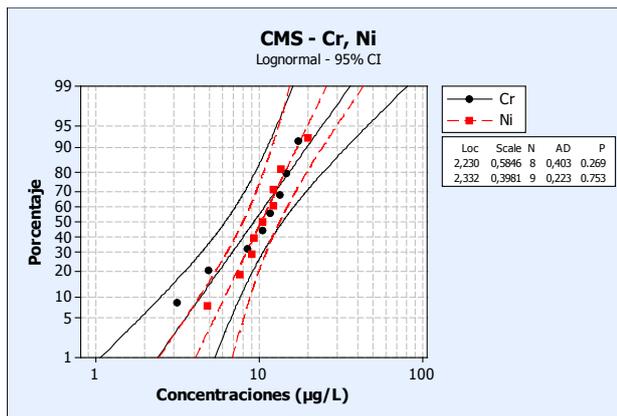


Figura 7-267. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de Cr y Ni.

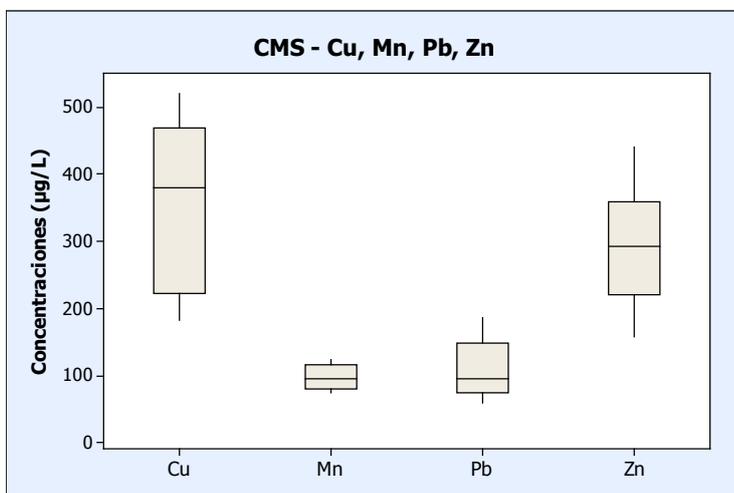


Figura 7-268. Diagramas de distribución de datos para las CMS de Cu, Mn, Pb y Zn.

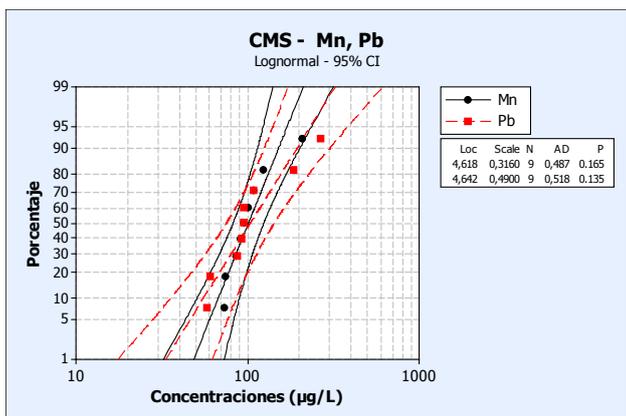


Figura 7-269. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de Mn y Pb.

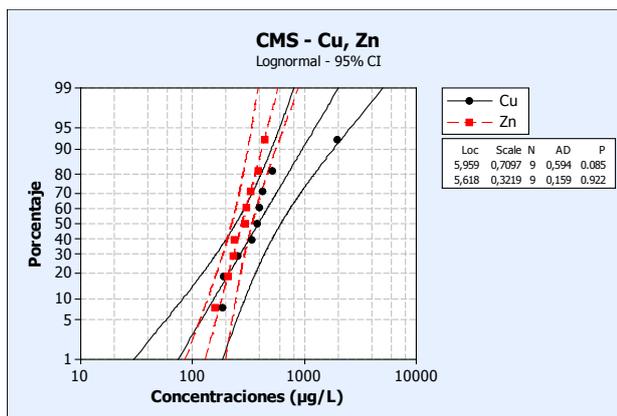


Figura 7-270. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de Cu y Zn.

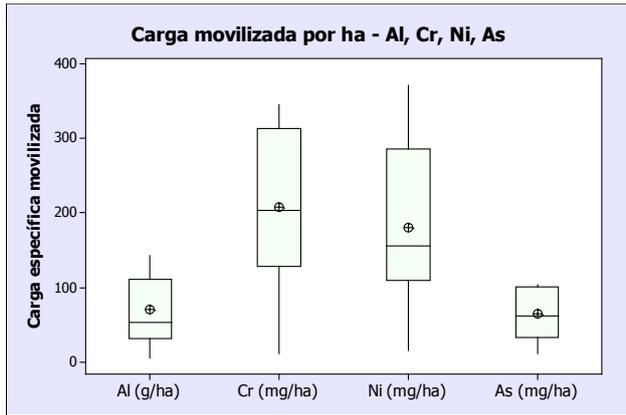


Figura 7-271. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por ha de Al, Cr, Ni y As.

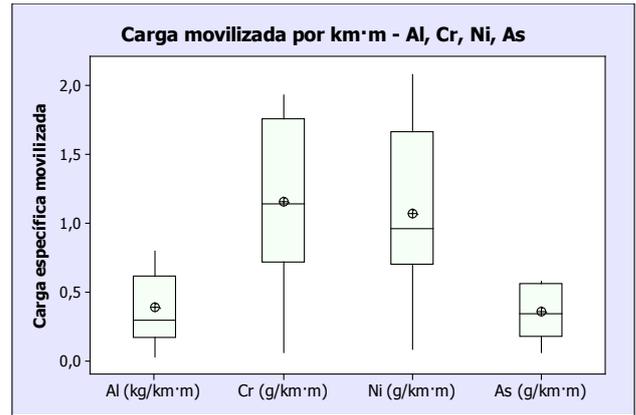


Figura 7-272. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por km² de Al, Cr, Ni y As.

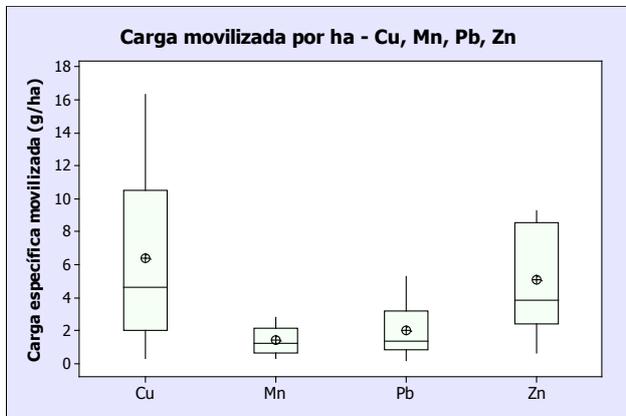


Figura 7-273. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por ha de Cu, Mn, Pb y Zn.

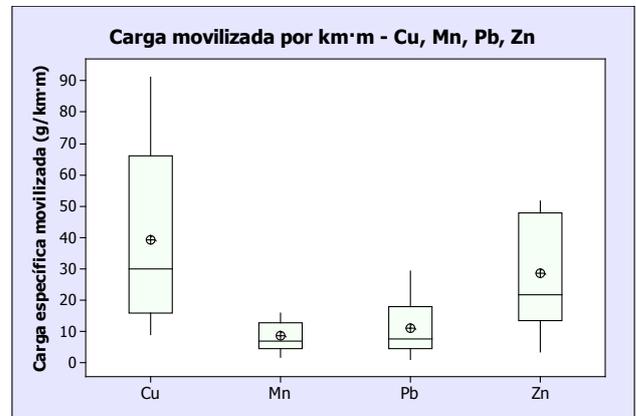


Figura 7-274. Diagramas de distribución de datos para las CMOV por km² de Cu, Mn, Pb y Zn.

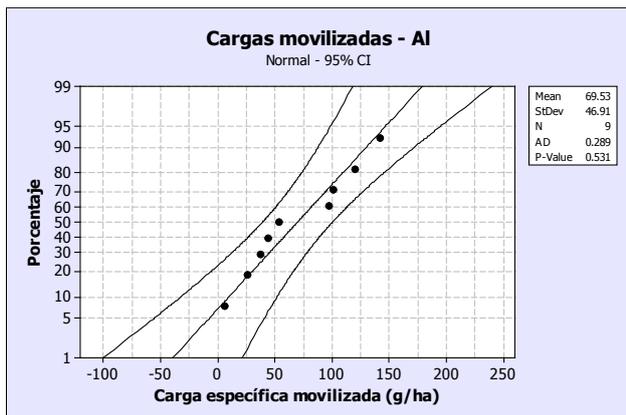


Figura 7-275. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de Al.

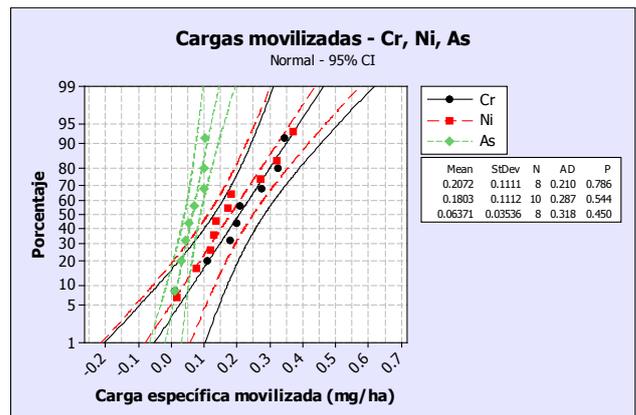


Figura 7-276. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de Cr, Ni y As.

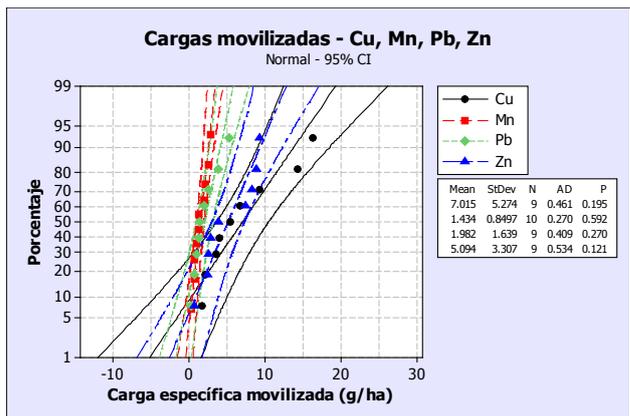


Figura 7-277. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMOV por ha de Cu, Mn, Pb y Zn.

7.4.3.7.2. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca

Los valores obtenidos para la movilización de metales en “Ensanche” ofrecen la tendencia esperable de una mayor movilización en tiempo de lluvia que en tiempo seco. Los usos de la cuenca netamente urbana y la resuspensión de sedimentos justifican este comportamiento, que se aprecia para la generalidad de los metales.

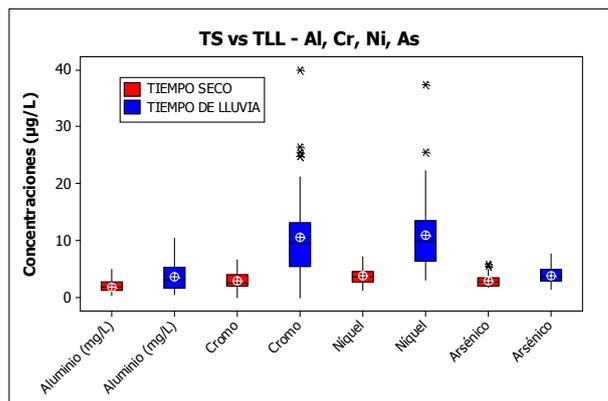


Figura 7-278. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de Al, Cr, Ni y As en tiempo seco y de lluvia.

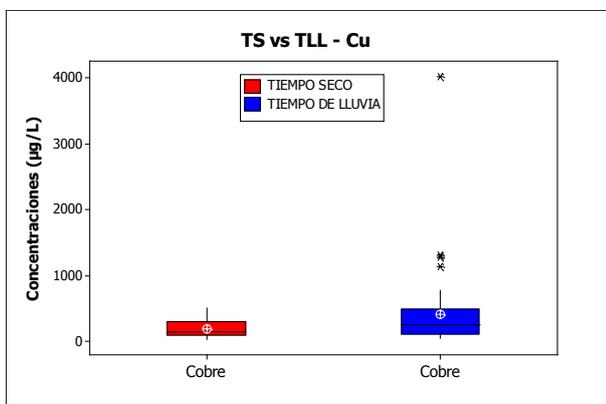


Figura 7-279. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de Cu en tiempo seco y de lluvia.

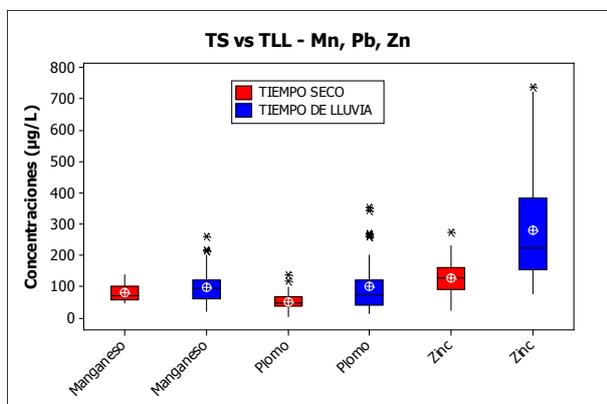


Figura 7-280. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de Mn, Pb y Zn en tiempo seco y de lluvia.

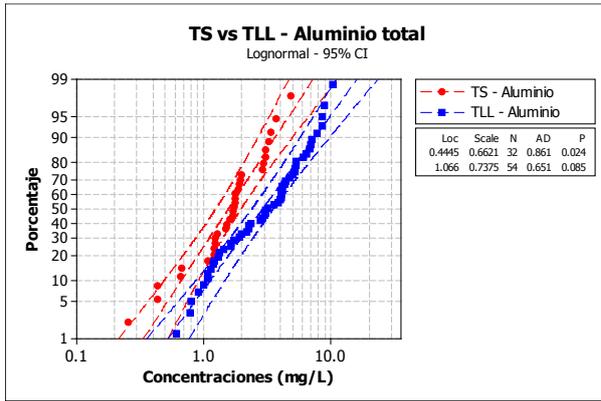


Figura 7-281. Distribución de probabilidad acumulada para las concentraciones de Al en tiempo seco y de lluvia.

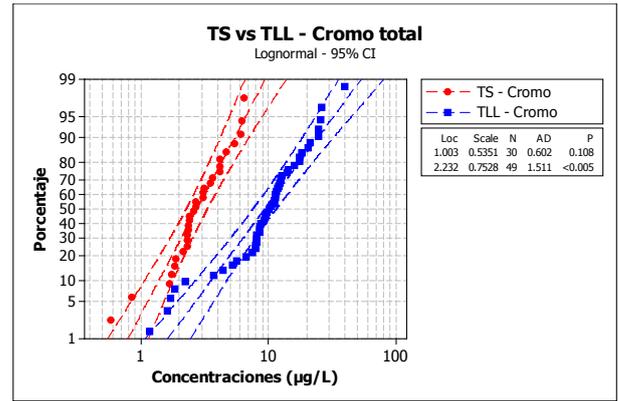


Figura 7-282. Distribución de probabilidad acumulada para las concentraciones de Cr en tiempo seco y de lluvia.

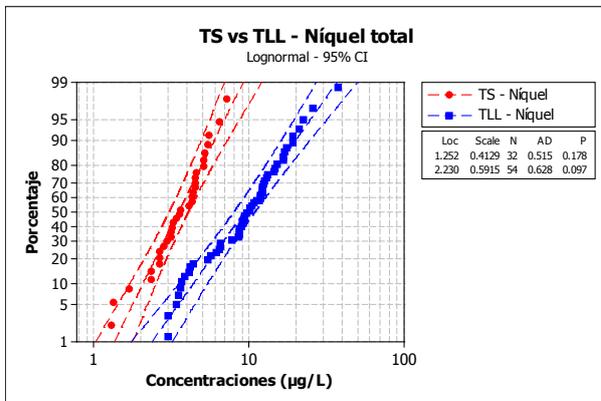


Figura 7-283. Distribución de probabilidad acumulada para las concentraciones de Ni en tiempo seco y de lluvia.

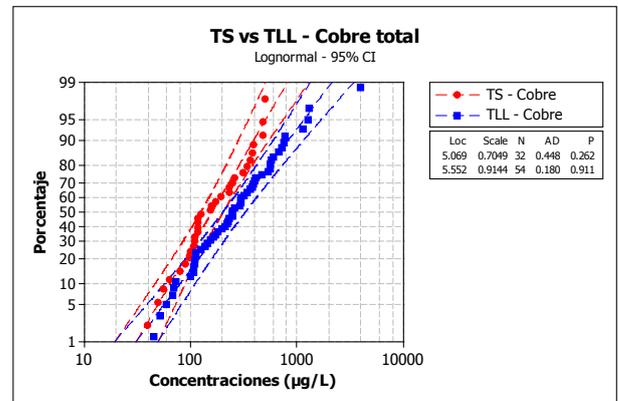


Figura 7-284. Distribución de probabilidad acumulada para las concentraciones de Cu en tiempo seco y de lluvia.

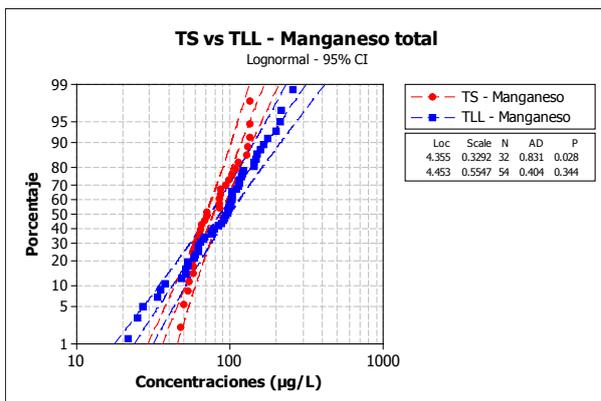


Figura 7-285. Distribución de probabilidad acumulada para las concentraciones de Mn en tiempo seco y de lluvia.

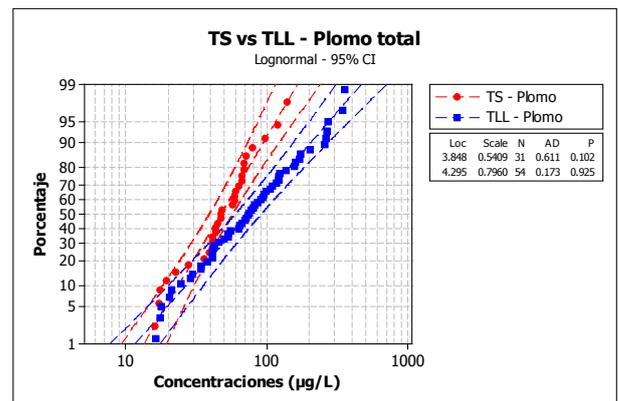


Figura 7-286. Distribución de probabilidad acumulada para las concentraciones de Pb en tiempo seco y de lluvia.

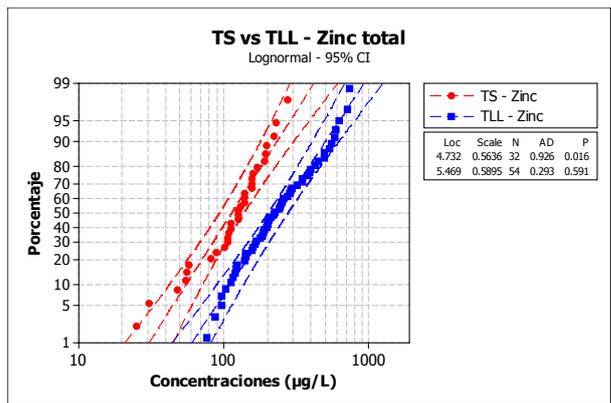


Figura 7-287. Distribución de probabilidad acumulada para las concentraciones de Zn en tiempo seco y de lluvia.

7.4.3.7.3. Comparación con otras cuencas estudiadas

Se han comparado los resultados del tratamiento estadístico de los valores de metales entre las cuencas de “Ensanche” y “Riera d’Horta”. Los valores de ambas cuencas son muy similares para el Al. No obstante, la cuenca de “Riera d’Horta” presenta valores algo superiores para el Mn y, claramente superiores para el Ni, cuya explicación puede estar en la litología, o en algún uso específico que no se ha detectado.

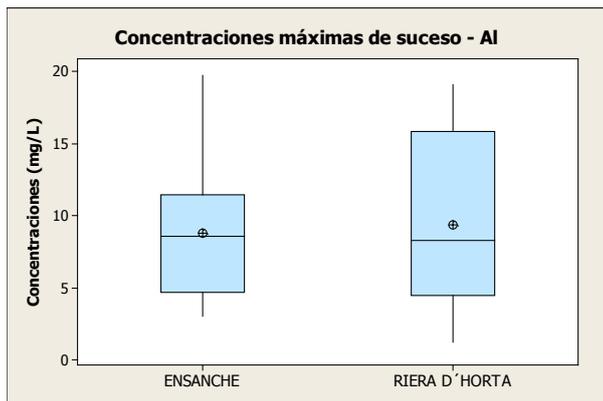


Figura 7-288. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de Al en las cuencas analizadas.

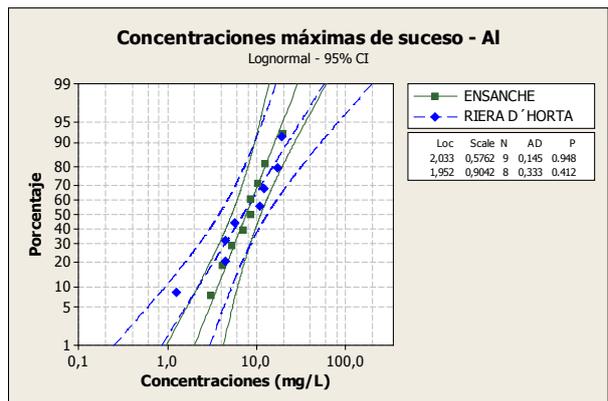


Figura 7-289. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de Al en las cuencas analizadas.

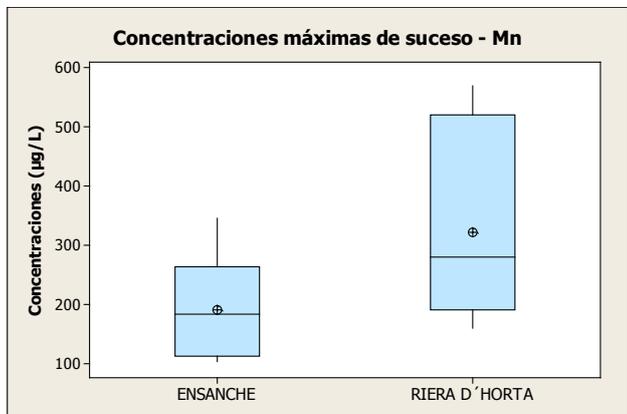


Figura 7-290. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de Mn en las cuencas analizadas.

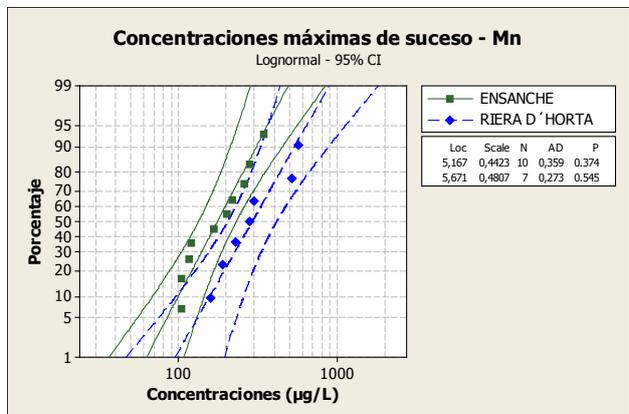


Figura 7-291. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de Mn en las cuencas analizadas.

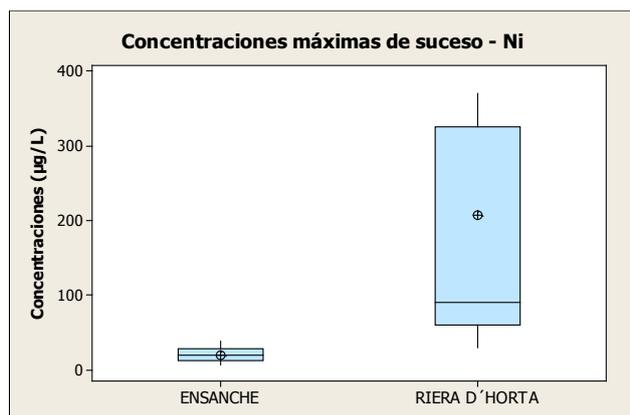


Figura 7-292. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de Ni en las cuencas analizadas.

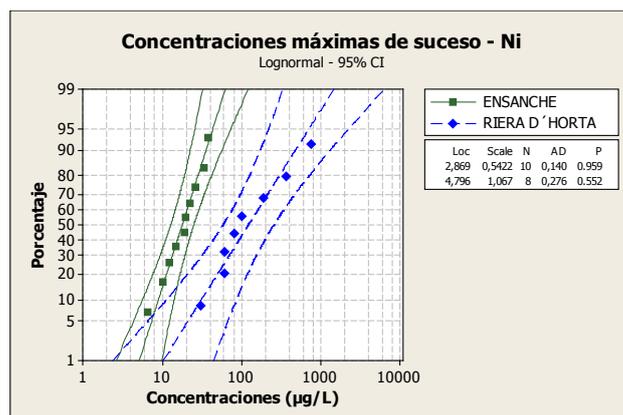


Figura 7-293. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de Ni en las cuencas analizadas.

En el caso de “Cancelón” tan solo se habían efectuado mediciones de concentración de metales en 4 sucesos de lluvia, siendo éste un número insuficiente para introducir los resultados de CMAX, CMS y CMOV en un tratamiento estadístico. No obstante, se han comparado los parámetros resultantes entre “Ensanche” y “Cancelón” y, a pesar de que las gráficas presentadas a continuación son meramente indicativas, se observa una buena concordancia en los valores de CMAX y CMS en los casos de Pb y Zn que se reflejan en los siguientes resultados comunes en las dos cuencas:

- ✓ Las CMAX medias para el Zn se sitúan en 600 µg/L y 300 - 350 µg/L para el Pb.
- ✓ Las CMS medias son de 200 - 300 µg/L para el Zn y en torno a 100 µg/L para el Pb.

En cuanto a las CMOV se observan diferentes tendencias según el metal considerado que se describen a continuación:

- ✓ Las cargas movilizadas de Cu son aproximadamente del doble en el “Ensanche” con respecto a “Cancelón”, concretamente de 7 por 3,5 g/ha ó 40 por 20 g/km·m de red.
- ✓ Para el caso del Pb, la movilización es aproximadamente del doble, pero en este caso en “Cancelón” en comparación con “Ensanche”, las CMOV medias son de 4 por 2 g/ha ó 22 por 11 g/km·m de red.
- ✓ El comportamiento de movilización del Zn se aproxima más entre las dos cuencas que en los dos casos anteriores, aunque cabe señalar que es superior en “Cancelón”, los valores de masas movilizadas de este metal son de 5 g/ha en “Ensanche” por los 7.5 de “Cancelón”, las ratios por km·m de red son de 30 por 40 g respectivamente.

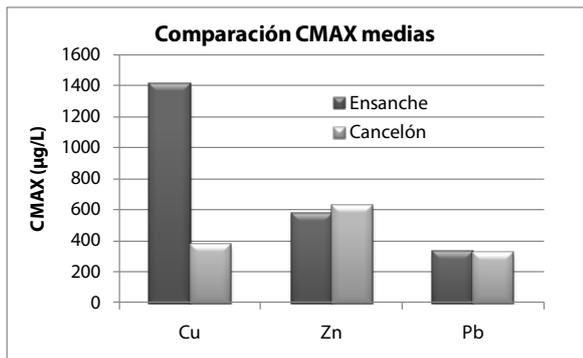


Figura 7-294. CMAX medias de Cu, Pb y Zn en las cuencas de "Ensanche" y "Cancelón".

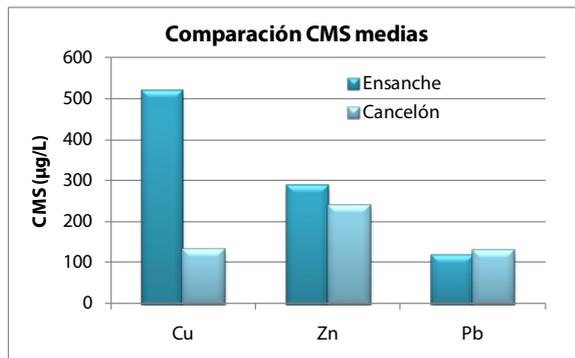


Figura 7-295. CMS medias de Cu, Pb y Zn en las cuencas de "Ensanche" y "Cancelón".

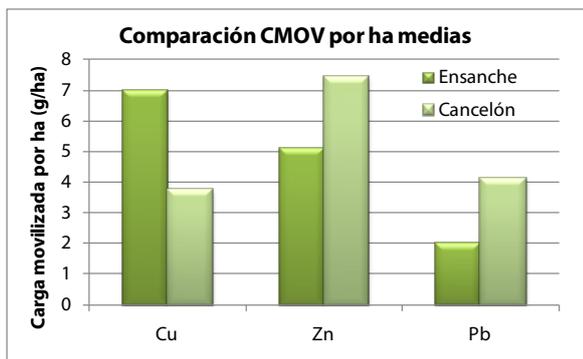


Figura 7-296. CMOV por ha medias de Cu, Pb y Zn en las cuencas de "Ensanche" y "Cancelón".

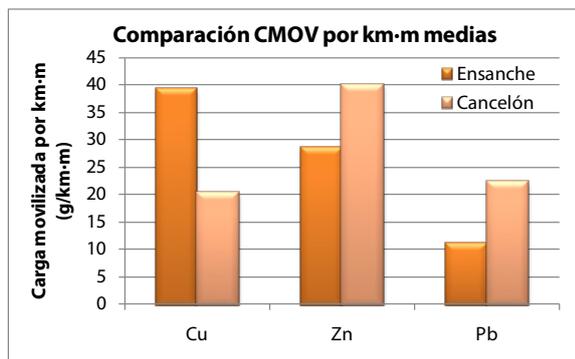


Figura 7-297. CMOV por km-m medias de Cu, Pb y Zn en las cuencas de "Ensanche" y "Cancelón".

Las concentraciones de metales analizadas a las 48 muestras (12 por suceso) obtenidas en "Cancelón" en tiempo de lluvia sí que se han podido tratar estadísticamente y comparar estos resultados con los obtenidos en tiempo seco en la misma cuenca. A continuación se presentan los diagramas de distribución de concentraciones para los metales Cu, Pb y Zn y también los homólogos para "Ensanche".

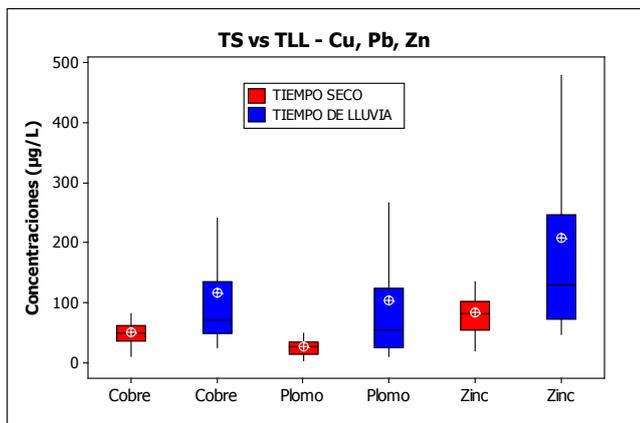


Figura 7-298. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de Cu, Pb y Zn en tiempo seco y de lluvia en la cuenca "Cancelón".

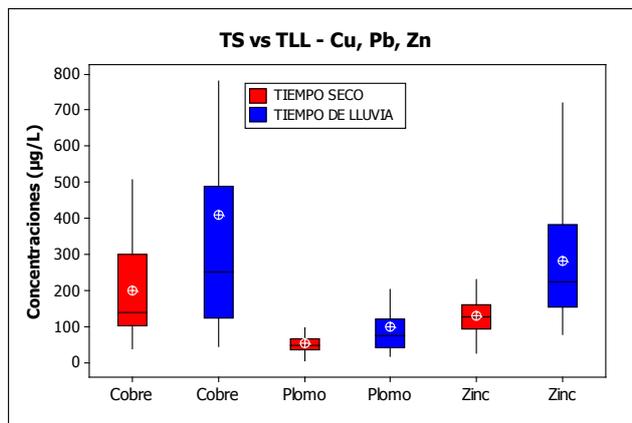


Figura 7-299. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de Cu, Pb y Zn en tiempo seco y de lluvia en la cuenca "Ensanche".

La comparación de las figuras anteriores pone de manifiesto la tendencia similar de las concentraciones de los metales entre tiempo seco y de lluvia en ambas cuencas, con valores resultantes más elevados en el caso de "Ensanche", especialmente para el Cu.

Se han comparado los resultados de concentraciones mediana y máxima, de tiempo seco y de lluvia, obtenidas en las cuencas "Cancelón" y "Ensanche" para los metales Cr, Cu, Ni, Pb y Zn con los publicados por Gasperi et al. (2008a) en su estudio de la extensa cuenca de París, exactamente la denominada "París intramuros", con una superficie total de 10,500 ha (105 km²), muy superior a las escasas 20 y 80 ha de las compostelanas "Ensanche" y "Cancelón" respectivamente, y con una población superior a los 2 millones de habitantes. Esta cuenca parisina es de tipo urbana densa con alta actividad comercial y residencial; por el contrario, su actividad industrial es escasa. Su superficie impermeable es aproximadamente del 70%. Las características de esta cuenca son similares a las de "Ensanche" en cuanto a actividades y tipología, con una gran diferencia en extensión como se ha comentado. Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7-23. Comparación de las concentraciones de metales totales entre la cuencas "Cancelón", "Ensanche" y "París intramuros".

Concentraciones (µg/L)	TIEMPO SECO						TIEMPO DE LLUVIA					
	Mediana			Concentración máxima			Mediana			Concentración máxima		
	Cancelón	Ensanche	París intramuros ¹	Cancelón	Ensanche	París intramuros ¹	Cancelón	Ensanche	París intramuros ¹	Cancelón	Ensanche	París intramuros ¹
Cr	9.0	2.5	< LD	31	6.5	25	8.3	9.5	< LD	57	40	158
Cu	50	139	51	171	508	95	71	251	68	784	4015	1180
Ni	3.8	3.6	< LD	13	7.2	18	8.7	9.8	< LD	76	37	19
Pb	28	47	17	138	139	43	55	74	39	637	1126	117
Zn	83	127	361	247	275	1320	131	225	682	1436	1156	3525

< LD: menor al límite de detección (LD: 10 µg/L)

¹ Gasperi et al., 2008a

La tabla anterior aporta información muy destacable que se sintetiza a continuación:

- ✓ Se observa un comportamiento similar en las tres cuencas analizadas y se constata que la carga de contaminación de metales en las cuencas unitarias es superior en tiempo de lluvia, con unas puntas de concentración importantes que pueden llegar a ser entre 5 y 12 veces las máximas de tiempo seco.
- ✓ Las concentraciones medianas de Cr, Ni y Pb son de mismo orden en las tres cuencas estudiadas.
- ✓ Las concentraciones de Cu son similares entre las cuencas de "Cancelón" y "París" siendo muy superiores en el "Ensanche".
- ✓ Las concentraciones de Zn en la cuenca parisina son aproximadamente tres veces superiores a las del "Ensanche" debido a la presencia de este metal en un porcentaje elevado de los tejados de la cuenca francesa.
- ✓ La concentración mediana en tiempo de lluvia para los metales Cu, Pb y Zn es superior entre 1.3 y 2.5 veces la concentración mediana de tiempo seco para las tres cuencas estudiadas.

La representación gráfica de la concentración mediana obtenida en tiempo seco y de lluvia en cada cuenca para los metales cobre, plomo y zinc se expone en la siguiente figura.

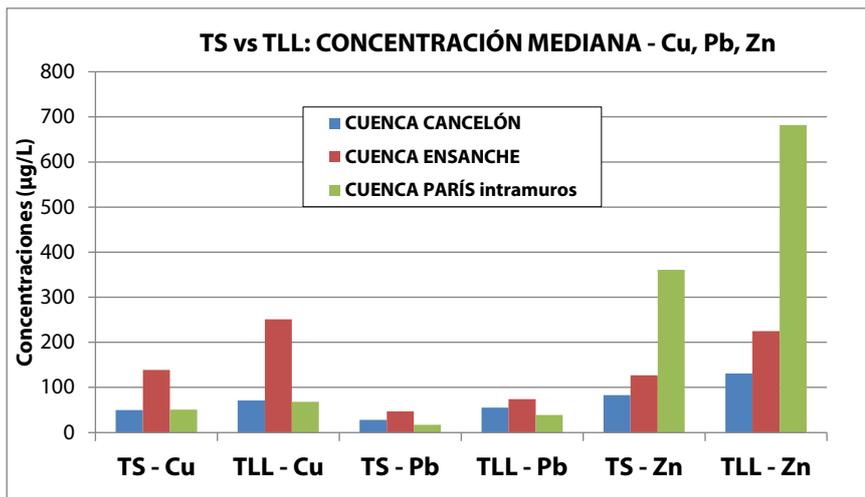


Figura 7-300. Concentración mediana de Cu, Pb y Zn obtenida en las cuencas “Cancelón”, “Ensanche” y “París intramuros” en tiempo seco (TS) y tiempo de lluvia (TLL).

La figura anterior plasma la tendencia existente en las cuencas unitarias a un aumento en la concentración mediana de los metales durante los sucesos pluviométricos. Este hecho implica un enorme incremento en las cargas y flujos máxicos de los mismos debido a que los caudales en tiempo de lluvia son muy superiores a los de tiempo seco. Esta importante movilización durante los aguaceros se observa en la figura 7-301 en la que se presenta el porcentaje de la masa total de metales movilizada en tiempo de lluvia asociada a la escorrentía generada en las cuencas “Cancelón” y “Ensanche”.

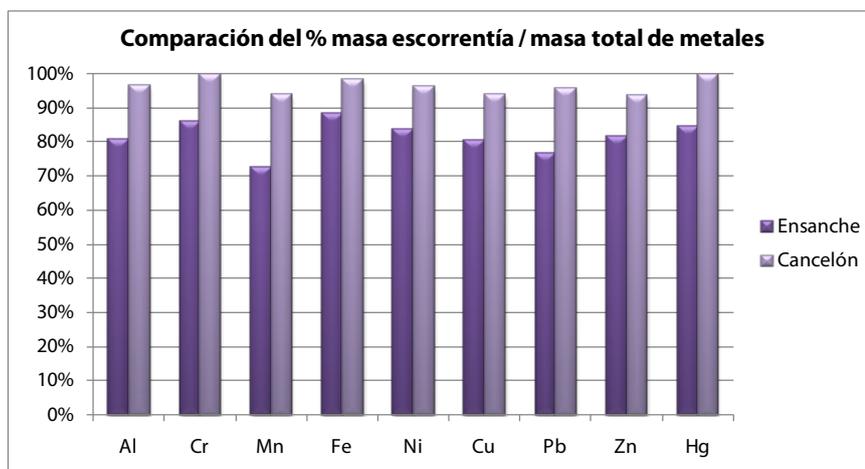


Figura 7-301. Porcentaje de masa de escorrentía movilizada de metales con respecto al total en las cuencas del “Ensanche” y “Cancelón”.

Se observa en la gráfica anterior que la masa de metales movilizada en tiempo de lluvia asociada a escorrentía en la cuenca de “Cancelón” es, de media, superior al 90% y en torno al 80% en el caso del “Ensanche”.

7.4.3.7.4. Comparación de CMAX y CMS con legislación de vertido y calidad en medio receptor

Se ha elaborado una tabla en la que se comparan los valores obtenidos de CMAX y CMS para los metales seleccionados en la cuenca de “Ensanche” con los establecidos en diversos textos legales de ámbito local, autonómico, estatal y europeo referentes a normativa de vertido y calidad en el medio receptor.

Tabla 7-24. Comparación de las CMAX y CMS de metales en los sucesos muestreados en el “Ensanche” con normativa legal de vertido y calidad en el medio receptor.

Unidades en µg/L		Dureza del agua (mg/L CaCO ₃)	Cu total	Cu disuelto	Pb total	Pb disuelto	Zn total	Zn disuelto	Aluminio	Arsénico	Cromo	Manganeso	Níquel	
AGUA PLUVIAL UNITARIA "ENSANCHE"	CMAX		473 - 4015	3 - 76	94 - 1126	2 - 28	252 - 1156	11 - 154	3000 - 19750	4 - 11	8 - 40	104 - 346	6 - 37	
	CMS	43-108	183 - 1987	2 - 30	58 - 268	1 - 8	157 - 441	7 - 89	1500 - 7600	3 - 6	3 - 17	74 - 207	5 - 20	
LEY 8/2001 DE PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE LAS RÍAS DE GALICIA - OBJETIVOS DE CALIDAD RÍAS GALLEGAS		CaCO ₃ ≤ 10		5		50	30			50				
		10 < CaCO ₃ ≤ 50		22			200							
		50 < CaCO ₃ ≤ 100		40			300							
		CaCO ₃ > 100		120			500							
LEY 8/2001 DE PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE LAS RÍAS DE GALICIA - LÍMITES DE EMISIÓN DE VERTIDOS DE AGUAS RESIDUALES A LAS RÍAS DE GALICIA		Media mensual	500		500		3000							
		Media diaria	2500		1000		6000							
		Valores puntuales	4000		2000		10000							
DIRECTIVA 75/440/CEE RELATIVA A LA CALIDAD REQUERIDA PARA LAS AGUAS SUPERFICIALES DESTINADAS A LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE		A1	50		50		3000			(10) - 50	50	(50)		
		A2	(50)		50		5000			50		(100)		
		A3	(1000)		50		5000			(50) - 100		(1000)		
DIRECTIVA 2006/44/CE RELATIVA A LA CALIDAD DE LAS AGUAS CONTINENTALES QUE REQUIEREN PROTECCIÓN O MEJORA PARA SER APTAS PARA LA VIDA DE LOS PECES		10		5 ⁽¹⁾		Aguas salmonícolas - Dureza del agua (mg/L CaCO ₃)	10	30						
							50	200						
		50	100	300										
			500	500										
		100		40		Aguas ciprínícolas - Dureza del agua (mg/L CaCO ₃)	10	300						
							50	700						
		300	100	1000										
			500	2000										
DIRECTIVA 2008/105/CE RELATIVA A LAS NORMAS DE CALIDAD AMBIENTAL EN EL ÁMBITO DE LA POLÍTICA DE AGUAS		NCA - MA ⁽²⁾ - Aguas superficiales continentales ⁽³⁾			7.2								20	
		NCA - MA ⁽²⁾ - Otras aguas superficiales			7.2								20	
		NCA - CMA ⁽⁴⁾ - Aguas superficiales continentales ⁽³⁾			no aplicable									no aplicable
		NCA - CMA ⁽⁴⁾ - Otras aguas superficiales			no aplicable									no aplicable
R.A.P.A.P.H. - TÍTULO IV - CANON DE VERTIDO (TABLA III)			200		200				1000					
ORDENANZAS DE VERTIDO AL ALCANTARILLADO	OURENSE				1000-2000									
	VIGO		500		700				10000					
	MADRID				1000-2000									
	ZARAGOZA		1000		1000									

Las cifras entre paréntesis se tomarán como valores indicativos deseables (Guía) con carácter provisional.

(1) La presencia de peces en agua que contengan concentraciones de cobre más elevadas podría indicar el predominio de complejos organocúpricos solubles.

(2) Este parámetro es la norma de calidad ambiental expresada como valor medio anual (NCA - MA).

(3) Las aguas superficiales continentales incluyen los ríos y lagos y las masas de agua artificiales o muy modificadas conexas.

(4) Este parámetro es la norma de calidad ambiental expresada como concentración máxima admisible (NCA - CMA).

Cuando en NCA - CMA se indica "no aplicable", se considera que los valores NCA - MA protegen contra los picos de contaminación a corto plazo en el caso de los vertidos continuos, ya que son significativamente inferiores a los calculados sobre la base de toxicidad aguda.

La lista de la legislación tenida en cuenta en la tabla anterior es la siguiente:

- Ordenanzas de vertido al alcantarillado de las ciudades de Ourense, Vigo, Madrid y Zaragoza.
- Ley 8/2001 de protección de la calidad de las aguas de las rías de Galicia.
- R.A.P.A.P.H. – CANON DE VERTIDO – TABLA III.
- Directiva 75/440/CEE relativa a la calidad requerida para las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.
- Directiva 2006/44/CE relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces.

- Directiva 2008/105/CE relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.

Del análisis de la tabla anterior pueden extraerse las siguientes conclusiones que se clasifican en dos apartados, las referentes a legislación sobre vertido a medio receptor y las de objetivos de calidad en las masas acuáticas.

Conclusiones con respecto a legislación sobre vertido a medio receptor

- ✓ Los valores CMAX de Cu total podrían superar los límites para vertidos puntuales a las rías de Galicia según la Ley 8/2001 de protección de la calidad de las mismas. Las CMAX de Pb total podrían superar el límite establecido para la media diaria.
- ✓ Las CMS de Al y Cu totales superarían, siempre en el caso del primero y, prácticamente siempre para el segundo, los límites de concentración de vertido establecidos en la Tabla III del R.A.P.A.P.H. para ambos metales. Las CMS de Pb total también podrían superar el valor establecido en esta tabla.

Conclusiones con respecto a ordenanzas municipales de vertido al alcantarillado

- ✓ Las CMS de Cu total y las CMAX de Pb total podrían incumplir los límites de concentración establecidos en las ordenanzas de vertido al alcantarillado de Vigo y Zaragoza.
- ✓ Las CMAX de Al total podrían superar los límites establecidos en la ordenanza de vertido al alcantarillado de Vigo.

Conclusiones con respecto a legislación sobre objetivos de calidad en masas acuáticas

- ✓ Los valores obtenidos de CMAX y CMS de Cu disuelto y Zn total incumplirían, con gran frecuencia, los estándares de calidad fijados en la Ley 8/2001 de protección de las rías de Galicia.
- ✓ Las CMS de Pb total incumplirían siempre para las tres categorías A1, A2 y A3 la Directiva 75/440/CEE.
- ✓ Las CMS de Cu total incumplirían con frecuencia la Directiva 75/440/CEE para las tres categorías A1, A2 y A3.
- ✓ Las CMS de Mn total incumplirían prácticamente siempre la Directiva 75/440/CEE para las tres categorías A1, A2 y A3.
- ✓ Las CMS de Cu disuelto podrían incumplir la Directiva 2006/44/CE relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces.
- ✓ Las CMS de Zn total podrían incumplir la Directiva 2006/44/CE para aguas salmonícolas y las CMAX incluso podrían incumplir para aguas ciprinícolas.
- ✓ Las CMAX de Ni podrían superar el valor medio de anual para aguas continentales establecido en la Directiva 2008/105/CE relativa a las normas de calidad ambiental. En el caso de las CMS de Pb total, éstas lo superarían con amplitud holgura.

7.4.3.7.5. Comparación de CMAX y CMS con concentraciones de inhibición de procesos biológicos en EDAR

El evidente aumento en las concentraciones máximas y medias de suceso de los metales pesados con respecto a los valores máximos y medios diarios de tiempo de seco, en la cuenca estudiada, ha planteado la comparación de los valores obtenidos en tiempo de lluvia, para este tipo de contaminantes, con los rangos de concentraciones de los mismos que inhiben los procesos biológicos de los que puede disponer una estación depuradora de aguas residuales (EDAR). La tabla comparativa para algunos metales estudiados se presenta a continuación:

Tabla 7-25. Comparación de CMAX y CMS de algunos metales estudiados con los valores de inhibición de procesos biológicos en EDAR (Beneyto, 2004).

<i>Metal</i>	<i>Pretratamiento municipal</i> [1]	<i>Toxicidad fangos activos</i> [2]	<i>Aerobio limitante</i> [3]	<i>Toxicidad anaerobio</i> [4]	<i>Nitrificación</i> [5]	<i>CMAX</i>	<i>CMS</i>
Cromo total (mg/L)	0.5 - 25	50	50	50 - 500	0.05 - 0.5	0.01 - 0.04	0.003 - 0.02
Cobre (mg/L)	0.02 - 15	1	1	1 - 10	0.25	0.47 - 4	0.18 - 2
Hierro (mg/L)	5.0 - 50	100 - 1000	100	5	10 - 25	1.4 - 16	0.9 - 7
Níquel (mg/L)	0.5 - 12	1 - 2.5	1	2	0.08 - 0.5	0.01 - 0.04	0.005 - 0.02
Zinc (mg/L)	0.5 - 50	0.08 - 10	0.08	5 - 20		0.25 - 1.2	0.16 - 0.44

[1] Rango de valores permitidos para el vertido a red de alcantarillado urbano en diversas ciudades USA.

[2] Rango de concentraciones de ciertos contaminantes en los que puede inhibirse el proceso de fangos activos.

[3] Límites inferiores de las concentraciones de tóxicos que inhiben los procesos biológicos aerobios convencionales.

[4] Límites inferiores de las concentraciones de tóxicos que inhiben los procesos biológicos de digestión anaerobia.

[5] Límites inferiores de las concentraciones de tóxicos que inhiben los procesos biológicos de nitrificación.

El análisis de la tabla anterior deja entrever la posibilidad de alcanzar valores de concentración de metales en EDAR, sobre todo para el cobre y el zinc, superiores a los límites inferiores de inhibición de procesos biológicos, especialmente sensible se presenta la nitrificación. Cabe mencionar que estos metales en tiempo de lluvia se presentan, como ya se ha visto, mayoritariamente en forma particulada. No obstante éstos podrían llegar a solubilizarse, como consecuencia de un cambio en el pH, y actuar reduciendo la eficacia de los procesos de tratamiento biológicos.

Esta notable presencia de metales en el afluente a EDAR puede dar lugar a concentraciones importantes de dichos compuestos, tanto en el efluente como en los fangos producidos en la planta. La presencia en el efluente de dichos compuestos en concentraciones excesivas puede ser causa de transgresión de los límites establecidos en la normativa que regula la toxicidad de los efluentes. Los niveles altos de metales pesados pueden inhibir la digestión anaerobia de los fangos, y pueden hacer inútiles los fangos para su aplicación posterior en agricultura.

7.4.3.8. Resumen de los resultados obtenidos para los parámetros básicos en las cuencas analizadas

Se ha elaborado una tabla resumen con las CMAX máximas, CMS y CMOV medias obtenidas en todas las cuencas analizadas en este capítulo para los parámetros básicos.

Tabla 7-26. Resumen de valores de CMAX máximas, CMS y CMOV medias de parámetros básicos en las cuencas analizadas.

Parámetros		ENSANCHE	CANCELÓN	RIERA D'HORTA	PROMEDSU	
DQO	CMAX	(mg/L)	3868	2497	4272	3260
	CMS		963	224	988	669
	CMOV	(kg / ha neta)	13.4	5.0	--	34.54
		(kg/ km-m)	75.2	26.9	--	--
DQO soluble	CMAX	(mg/L)	452	538	457	--
	CMS		263	112	351	--
DBO ₅	CMAX	(mg/L)	2100	760	--	1625
	CMS		518	68	--	394
	CMOV	(kg / ha neta)	6.8	1.2	--	3.4
		(kg/ km-m)	38.1	6.8	--	--
COT	CMAX	(mg/L)	750	--	160	280
	CMS		94.2	--	39.4	41.9
N total	CMAX	(mg/L)	172	103	139	115
	CMS		48.7	22.7	45.2	34.9
	CMOV	(kg / ha neta)	0.48	0.46	--	1.50
		(kg/ km-m)	2.7	2.5	--	--
N orgánico	CMAX	(mg/L)	119	82	81	53
	CMS		27.3	20.1	25.2	19.2
	CMOV	(kg / ha neta)	0.38	0.43	--	1.04
		(kg/ km-m)	2.1	2.3	--	--
N amoniacal	CMAX	(mg/L)	57	30	104	76
	CMS		21.4	15.5	18.4	2.8
	CMOV	(kg / ha neta)	0.12	0.04	--	0.48
		(kg/ km-m)	0.65	0.22	--	--
P total	CMAX	(mg/L)	28.4	24.4	26.0	35.8
	CMS		8.4	4.6	9.6	8.0
	CMOV	(kg / ha neta)	0.10	0.11	--	0.62
		(kg/ km-m)	0.56	0.55	--	--
P orgánico	CMAX	(mg/L)	18.8	20.4	--	--
	CMS		4.3	3.7	5.4	--
	CMOV	(kg / ha neta)	0.06	0.09	--	--
		(kg/ km-m)	0.36	0.48	--	--
Fosfatos	CMAX	(mg/L)	16.2	5.5	18.7	--
	CMS		4.0	0.9	4.3	--
	CMOV	(kg / ha neta)	0.03	0.02	--	--
		(kg/ km-m)	0.20	0.07	--	--
SS	CMAX	(mg/L)	3185	3052	3100	3394
	CMS		532	328	1025	613
	CMOV	(kg / ha neta)	8.1	8.9	--	55.9
		(kg/ km-m)	45.6	47.7	--	--
SSV	CMAX	(mg/L)	2640	1806	--	2623
	CMS		423	139	--	384
	CMOV	(kg / ha neta)	6.4	3.6	--	4.3
		(kg/ km-m)	35.8	18.8	--	--
SD	CMAX	(mg/L)	876	412	--	--
	CMS		237	115	--	--
	CMOV	(kg / ha neta)	2.1	2.1	--	--
		(kg/ km-m)	12.0	11.5	--	--
SDV	CMAX	(mg/L)	696	212	--	--
	CMS		104	42	--	--
	CMOV	(kg / ha neta)	1.1	0.8	--	1.7
		(kg/ km-m)	6.0	4.4	--	--
ST	CMAX	(mg/L)	3452	3464	3465	--
	CMS		801	442	1232	--
	CMOV	(kg / ha neta)	10.7	11.0	--	--
		(kg/ km-m)	59.9	59.2	--	--
STV	CMAX	(mg/L)	2788	1892	--	--
	CMS		551	181	--	567
	CMOV	(kg / ha neta)	7.7	4.3	--	5.9
		(kg/ km-m)	43.5	23.2	--	--
Turbidez	CMAX	(NTU)	1570	--	1500	548
	CMS		218	--	585	198
Coliformes fecales	CMAX	(UFC/100 mL)	2.0E+08	--	4.0E+08 *	2.6E+08
	CMS		3.5E+07	--	2.6E+07 *	2.3E+07

* Escherichia coli (NMP/100 mL)

CMAX: valor máximo obtenido en la caracterización de los sucesos de lluvia de la cuenca

CMS: valor medio de las CMS obtenidas en la caracterización de los sucesos de lluvia de la cuenca

CMOV: valor medio de la CMOV obtenida en la caracterización de los sucesos de lluvia de la cuenca

7.4.3.9. Comparación de los resultados obtenidos en la cuenca "Ensanche" con los de estudios recientes para los principales contaminantes

Los resultados de la caracterización de los flujos de contaminación generados en la cuenca "Ensanche" se han comparado con la bibliografía existente. Se ha tomado como principal referencia la publicación de Kafi et al. (2008) perteneciente al importante estudio OPUR2, llevado a cabo por el grupo de investigación francés del CEREVE. Estudiaron 6 cuencas urbanas unitarias situadas en la margen derecha del río Sena en la ciudad de París, con extensiones que comprenden desde 42 ha hasta 2581 ha. La impermeabilidad de las cuencas estudiadas en este programa de investigación oscila entre el 64% y el 73% y, su población, entre 12.000 y 620.000 habitantes. Se muestrearon en total 27 sucesos pluviométricos. Los valores extraídos del tratamiento estadístico de los resultados agregados obtenidos en las campañas de caracterización de las 6 cuencas estudiadas para las concentraciones medias (de suceso y de tiempo seco) y las cargas movilizadas por hectárea neta se han comparado con los obtenidos en "Ensanche".

En la siguiente tabla se presentan el valor mediano (d50) y los percentiles 10 y 90 (d10 - d90) de las concentraciones medias de suceso (CMS) en tiempo de lluvia obtenidos para los contaminantes medidos en "Ensanche" y en el programa OPUR2. En el caso del estudio francés se presentan también los resultados de d10, d50 y d90 para las concentraciones medias diarias de tiempo seco (CMDTS); sin embargo, por escasez en el volumen de datos, para el "Ensanche" no se presentan los percentiles 10 y 90 de CMDTS; en su lugar se exponen los rangos obtenidos de este parámetro en tiempo seco para cada contaminante analizado. También se han incluido los valores de d10, d50 y d90 de las CMS obtenidas en la bibliografía existente (en la que se incluyen, entre otros, los resultados de PROMEDSU y "Cancelón") y en la base de datos QASTOR (Saget, 1994).

Tabla 7-27. CMS y CMDTS (d10 - d90, mediana) obtenidas en la cuenca "Ensanche" comparadas con la bibliografía.

CUENCAS	SS (mg/L)	SSV (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	COT (mg/L)	NTK* (mg/L)	Cd (µg/L)	Cu (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)	HAPs (µg/L)
ENSANCHE TIEMPO DE LLUVIA	264 - 1383	185 - 904	515 - 1767	260 - 1279	19 - 361	22 - 114	0.07 - 0.36	183 - 1987	58 - 268	157 - 441	0.6 - 34.1
	532	423	963	518	94	49	0.21	519	117	288	11.9
ENSANCHE^a TIEMPO SECO	152 - 338	138 - 301	506 - 850	335 - 469	82 - 115	47 - 67	0.18 - 0.32	139 - 376	39 - 88	111 - 187	3.5 - 5.0
	235	195	671	403	98	57	0.23	168	58	144	4.3
OPUR2 TIEMPO DE LLUVIA (Kafi et al., 2008)	174 - 403	135 - 317	286 - 633	116 - 244	77 - 181	15 - 35	0.64 - 2.03	66 - 231	55 - 289	760 - 1832	1.04 - 4.81
	279	213	432	158	121	25	1.2	130	98	1120	2.12
OPUR2 TIEMPO SECO (Gasperi et al., 2008b)	157 - 243	140 - 211	315 - 528	133 - 211	97 - 147	30 - 43	0.28 - 0.70	60 - 115	16 - 34	131 - 388	0.37 - 1.12
	198	171	388	181	116	36	0.5	81	22	172	0.8
Base de datos QASTOR^b TIEMPO DE LLUVIA	267 - 570	215	381 - 632	118 - 231	-	24 - 29	6 - 26	-	198 - 566	837 - 2276	-
	421		478	153		27	13		393	1395	
Bibliografía^c TIEMPO DE LLUVIA	281-394	-	306-537	103-220	-	17-43	-	-	10-90	-	0.5-1.6
	309		394	155		31					

^a Rango de CMDTS

^b Valores extraídos de la base datos QASTOR (Saget, 1994).

^c Bibliografía (Diaz-Fierros et al., 2002; Lee and Bang, 2000; Rule et al., 2006; Suárez y Puertas, 2005).

* En la cuenca "Ensanche" se midió N total

Se han representado los valores medianos obtenidos en la cuenca “Ensanche” y en el programa OPUR2 para algunos parámetros de contaminación.

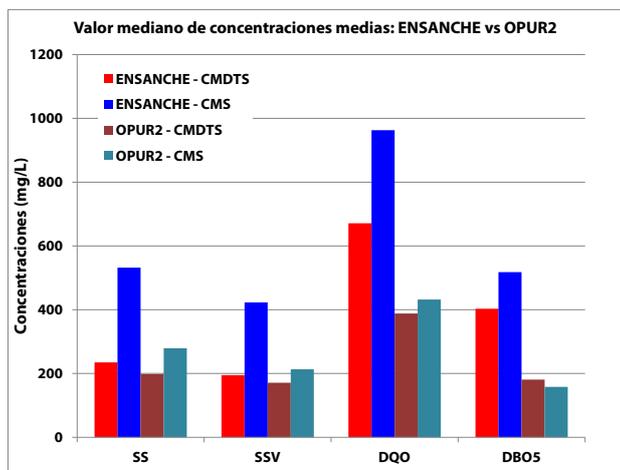


Figura 7-302. Valores medianos de concentraciones medias obtenidos para los SS, SSV, DQO y DBO₅ en la cuenca “Ensanche” y en el programa OPUR2.

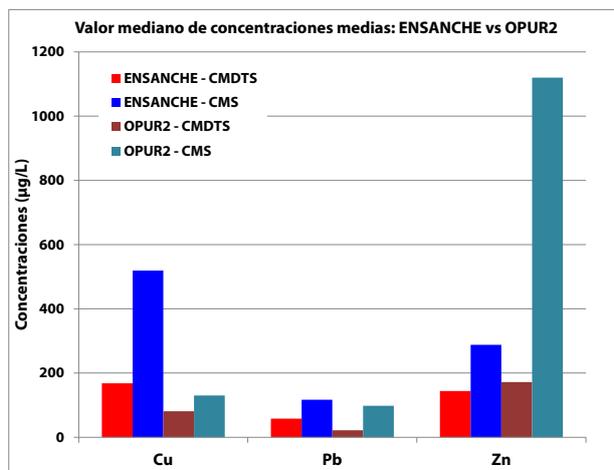
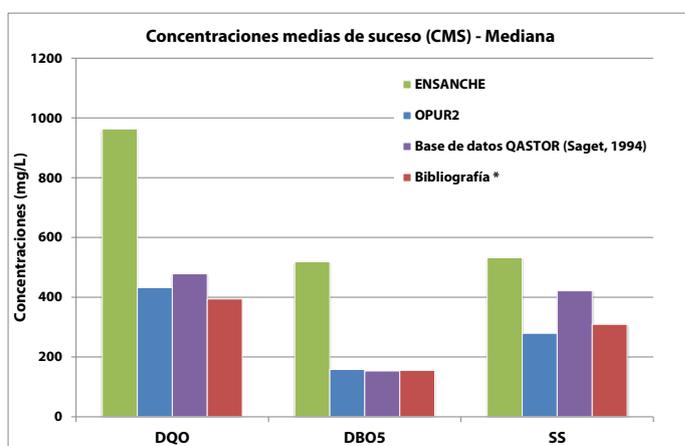


Figura 7-303. Valores medianos de concentraciones medias obtenidos para los metales Cu, Pb y Zn en la cuenca “Ensanche” y en el programa OPUR2.

El análisis de los resultados obtenidos para la mediana de las concentraciones medias entre los estudios de “Ensanche” y OPUR2 confirma interesantes similitudes puesto que la tendencia de los valores de la mediana de las concentraciones medias entre tiempo seco y de lluvia, en ambos estudios, es idéntica para los sólidos, la DQO, el nitrógeno oxidable, los metales (Cu, Pb y Zn) y los HAPs, dicha tendencia es al aumento en tiempo de lluvia excepto el nitrógeno oxidable (dilución de N amoniacal prevalece frente a movilización de N orgánico). Cabe destacar que la diferencia entre los valores medianos de tiempo seco y de lluvia es superior para la cuenca “Ensanche”, debido a la menor pluviometría de los sucesos muestreados en este estudio, por lo que existe un menor efecto dilución en la cola de los hidrogramas.

El valor mediano para la CMS de Zn en el programa OPUR2 es casi 7 veces superior al de tiempo seco debido a la presencia de este metal en el material de un elevado porcentaje de los tejados de las cuencas parisinas.

Los valores medianos para las CMS presentados en la tabla 7-27 se comparan gráficamente en la figura siguiente.



* Bibliografía (Díaz-Fierros et al., 2002; Lee and Bang, 2000; Rule et al., 2006; Suárez y Puertas, 2005).

Figura 7-304. Valores medianos de CMS de DQO, DBO₅ y SS obtenidos en la cuenca “Ensanche” y comparados con la bibliografía.

En la figura anterior pueden observarse unos valores resultantes para la mediana de CMS de "Ensanche" superiores a los demás estudios, especialmente para los consumidores de oxígeno. Este hecho puede estar influido por varios factores, entre los que destacan, por una parte, la menor pluviometría de los sucesos muestreados, con lo que el efecto de resuspensión de sedimentos en la red prevalece sobre el efecto dilución de la cola de los hidrogramas como ya se ha comentado; y, por otro lado, la alta concentración de las aguas residuales de tiempo seco de la cuenca santiaguesa, especialmente los consumidores de oxígeno.

Las cargas movilizadas por hectárea neta obtenidas en la cuenca "Ensanche" se han comparado con las resultantes del programa OPUR2 francés. En la siguiente tabla se presentan la mediana (d50) y los percentiles 10 y 90 (d10 – d90).

Tabla 7-28. Cargas movilizadas por hectárea neta (d10 – d90, mediana) en la cuenca "Ensanche" comparadas con las obtenidas en el programa OPUR2.

CUENCAS	SS (kg/ha neta)	SSV (kg/ha neta)	DQO (kg/ha neta)	DBO ₅ (kg/ha neta)	COT (kg/ha neta)	N total* (kg/ha neta)	Cd (g/ha neta)	Cu (g/ha neta)	Pb (g/ha neta)	Zn (g/ha neta)
ENSANCHE	0.8 - 15.6	0.7 - 12.5	1.9 - 23.1	1.3 - 11	0.15 - 2.5	0.1 - 0.9	3E-04 - 0.007	0.43 - 16.1	0.06 - 5.1	0.28 - 9.2
	8.8	6.7	14.8	7.4	0.5	0.5	0.003	4.6	1.3	3.3
OPUR2 (Kafi et al., 2008)	11 - 61	9 - 43	19 - 87	9 - 33	6 - 24	1 - 4	0.04 - 0.28	4 - 31	2 - 42	42 - 274
	27	19	39	16	11	2	0.1	13	11	98

* En el OPUR2 se midió NTK

Analizando la tabla anterior se observa con claridad que la movilización de la contaminación durante los eventos pluviométricos en las cuencas parisinas es muy superior a la de la cuenca "Ensanche". En el OPUR2 los resultados del valor mediano de las cargas específicas movilizadas medias de DQO, SS, SSV y Cu son, aproximadamente, el triple; para la DBO₅ la movilización por hectárea neta es el doble, mientras que para el N oxidable el cuádruple. Destaca la elevadísima movilización de Zn en el estudio francés (30 veces más que en "Ensanche") cuyas causas ya han sido citadas (metal presente en un gran porcentaje de los tejados de las cuencas urbanas estudiadas).

La principal causa de la evidente diferencia en la magnitud de contaminación movilizada por hectárea impermeable entre los estudios analizados es el contraste existente en la morfología de las cuencas en lo que se refiere a la pendiente de las mismas. Las cuencas parisinas del programa OPUR2 son cuasi-planas con un desnivel promedio muy inferior al de "Ensanche", la cual se caracteriza por unas elevadas pendientes, con unos valores medios y máximos del 4% y 13% respectivamente. Este elevado desnivel de la cuenca santiaguesa tiene importantes implicaciones en las velocidades de los flujos de agua residual que circulan por la red de saneamiento en tiempo seco, y por ende, en el grado de acumulación de sedimentos en la misma, que será siempre muy inferior al que tiene lugar en una cuenca urbana con pendientes mucho más moderadas como ocurre en la ciudad de París.

Existen otros factores que también influyen en la mayor acumulación de sedimentos en los sistemas de saneamiento y drenaje en la ciudad de París tales como el diseño de la red de saneamiento y drenaje para unas intensidades pluviométricas mayores y una densidad de

población por hectárea neta menor, ambas circunstancias implican un mayor dimensionamiento de la red para un mismo caudal de agua residual en tiempo seco con respecto a “Ensanche”.

7.5. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE PARÁMETROS HIDROLÓGICO-HIDRÁULICOS Y DE CONTAMINACIÓN

7.5.1. Correlación entre parámetros hidrológico-hidráulicos y las CMAX, CMS y CMOV de los principales parámetros básicos.

El análisis de relaciones entre los parámetros hidrológico-hidráulicos de cada suceso de lluvia con las concentraciones y cargas de los contaminantes movilizados durante el mismo en una cuenca puede ser una herramienta útil para poder predecir el comportamiento de la misma en cuanto a la movilización de la contaminación a partir del conocimiento de variables de medición y cálculo más sencillas como son las hidrológico-hidráulicas.

Se han elaborado matrices de correlación entre los parámetros hidráulicos y las CMAX, CMS y CMOV de los principales contaminantes (DQO, DBO₅, N total, P total, SS y ST) en los sucesos muestreados en la cuenca del “Ensanche”.

Los parámetros hidrológico-hidráulicos tenidos en consideración han sido los siguientes:

- DTSP: días de tiempo seco precedente.
- Qmax: caudal máximo registrado en el suceso muestreado.
- Qm: caudal medio registrado en el suceso muestreado.
- Volumen: volumen de agua pluvial mixta en el suceso muestreado.
- Δt_{pl}: tiempo transcurrido desde el comienzo del suceso hasta el instante en el que se alcanza el caudal máximo en el hidrograma.
- P: precipitación total en el suceso.
- I_{10' max}: intensidad diezminutal máxima en el suceso.

Tabla 7-29. Matriz de correlación entre parámetros hidrológico-hidráulicos y las CMAX de los principales parámetros básicos.

	DTSP	Qmax	Qm	Volumen	Δt _{pl}	P	I _{10' max}	DQO	DBO ₅	N total	P total	SS	ST
DTSP	1.00	-0.23	-0.18	-0.17	0.12	-0.05	-0.28	0.49	0.67	0.55	0.64	0.71	0.73
Qmax	-0.23	1.00	0.91	0.79	-0.19	0.85	0.86	0.36	0.23	0.10	0.27	0.24	0.21
Qm	-0.18	0.91	1.00	0.89	-0.05	0.87	0.79	0.46	0.34	0.08	0.35	0.27	0.25
Volumen	-0.17	0.79	0.89	1.00	0.00	0.95	0.78	0.45	0.36	-0.01	0.36	0.31	0.26
Δt _{pl}	0.12	-0.19	-0.05	0.00	1.00	0.09	-0.19	-0.26	-0.19	-0.18	-0.21	-0.26	-0.24
P	-0.05	0.85	0.87	0.95	0.09	1.00	0.86	0.47	0.39	0.10	0.41	0.37	0.33
I _{10' max}	-0.28	0.86	0.79	0.78	-0.19	0.86	1.00	0.32	0.19	0.03	0.21	0.21	0.18
DQO	0.49	0.36	0.46	0.45	-0.26	0.47	0.32	1.00	0.96	0.80	0.97	0.92	0.93
DBO ₅	0.67	0.23	0.34	0.36	-0.19	0.39	0.19	0.96	1.00	0.75	0.97	0.97	0.98
N total	0.55	0.10	0.08	-0.01	-0.18	0.10	0.03	0.80	0.75	1.00	0.84	0.71	0.76
P total	0.64	0.27	0.35	0.36	-0.21	0.41	0.21	0.97	0.97	0.84	1.00	0.93	0.95
SS	0.71	0.24	0.27	0.31	-0.26	0.37	0.21	0.92	0.97	0.71	0.93	1.00	1.00
ST	0.73	0.21	0.25	0.26	-0.24	0.33	0.18	0.93	0.98	0.76	0.95	1.00	1.00

De la matriz anterior se pueden destacar las siguientes conclusiones:

- ✓ Existe una buena correlación entre los días de tiempo seco precedente al suceso de lluvia y las concentraciones máximas de los contaminantes analizados.
- ✓ Las correlaciones de todos los parámetros hidrológico-hidráulicos presentan signo positivo con respecto a los parámetros de contaminación a excepción del Δt_{pl} cuyo signo siempre es negativo.

Tabla 7-30. Matriz de correlación entre parámetros hidrológico-hidráulicos y las CMS de los principales parámetros básicos.

	DTSP	Qmax	Qm	Volumen	Δt_{pl}	P	$I_{10'_{max}}$	DQO	DBO ₅	N total	P total	SS	ST
DTSP	1.00	-0.23	-0.18	-0.17	0.12	-0.05	-0.28	0.51	0.55	0.52	0.56	0.59	0.62
Qmax	-0.23	1.00	0.91	0.79	-0.19	0.85	0.86	-0.36	-0.39	-0.42	-0.43	-0.25	-0.35
Qm	-0.18	0.91	1.00	0.89	-0.05	0.87	0.79	-0.35	-0.39	-0.49	-0.45	-0.25	-0.37
Volumen	-0.17	0.79	0.89	1.00	0.00	0.95	0.78	-0.38	-0.43	-0.60	-0.53	-0.28	-0.42
Δt_{pl}	0.12	-0.19	-0.05	0.00	1.00	0.09	-0.19	-0.14	-0.13	0.08	-0.02	-0.14	-0.12
P	-0.05	0.85	0.87	0.95	0.09	1.00	0.86	-0.34	-0.37	-0.47	-0.45	-0.22	-0.34
$I_{10'_{max}}$	-0.28	0.86	0.79	0.78	-0.19	0.86	1.00	-0.37	-0.41	-0.46	-0.50	-0.27	-0.38
DQO	0.51	-0.36	-0.35	-0.38	-0.14	-0.34	-0.37	1.00	0.99	0.81	0.93	0.98	0.98
DBO ₅	0.55	-0.39	-0.39	-0.43	-0.13	-0.37	-0.41	0.99	1.00	0.84	0.95	0.98	0.99
N total	0.52	-0.42	-0.49	-0.60	0.08	-0.47	-0.46	0.81	0.84	1.00	0.96	0.75	0.85
P total	0.56	-0.43	-0.45	-0.53	-0.02	-0.45	-0.50	0.93	0.95	0.96	1.00	0.88	0.95
SS	0.59	-0.25	-0.25	-0.28	-0.14	-0.22	-0.27	0.98	0.98	0.75	0.88	1.00	0.98
ST	0.62	-0.35	-0.37	-0.42	-0.12	-0.34	-0.38	0.98	0.99	0.85	0.95	0.98	1.00

Al igual que en la matriz de CMAX, existe buena correlación entre los días de tiempo seco precedente y las CMS de los parámetros de contaminación estudiados. No obstante, las correlaciones del resto de parámetros hidrológico-hidráulicos con los contaminantes presentan signo negativo en este caso.

Tabla 7-31. Matriz de correlación entre parámetros hidrológico-hidráulicos y las CMOV de los principales parámetros básicos.

	DTSP	Qmax	Qm	Volumen	Δt_{pl}	P	$I_{10'_{max}}$	DQO	DBO ₅	N total	P total	SS	ST
DTSP	1.00	-0.23	-0.18	-0.17	0.12	-0.05	-0.28	0.27	0.41	0.35	0.26	0.44	0.43
Qmax	-0.23	1.00	0.91	0.79	-0.19	0.85	0.86	0.37	0.31	0.53	0.43	0.44	0.41
Qm	-0.18	0.91	1.00	0.89	-0.05	0.87	0.79	0.56	0.48	0.61	0.62	0.54	0.54
Volumen	-0.17	0.79	0.89	1.00	0.00	0.95	0.78	0.72	0.62	0.72	0.77	0.68	0.69
Δt_{pl}	0.12	-0.19	-0.05	0.00	1.00	0.09	-0.19	-0.03	-0.10	0.07	-0.01	-0.01	-0.08
P	-0.05	0.85	0.87	0.95	0.09	1.00	0.86	0.65	0.58	0.77	0.68	0.69	0.66
$I_{10'_{max}}$	-0.28	0.86	0.79	0.78	-0.19	0.86	1.00	0.36	0.29	0.52	0.34	0.43	0.39
DQO	0.27	0.37	0.56	0.72	-0.03	0.65	0.36	1.00	0.98	0.89	0.98	0.93	0.96
DBO ₅	0.41	0.31	0.48	0.62	-0.10	0.58	0.29	0.98	1.00	0.88	0.95	0.95	0.98
N total	0.35	0.53	0.61	0.72	0.07	0.77	0.52	0.89	0.88	1.00	0.89	0.89	0.89
P total	0.26	0.43	0.62	0.77	-0.01	0.68	0.34	0.98	0.95	0.89	1.00	0.89	0.93
SS	0.44	0.44	0.54	0.68	-0.01	0.69	0.43	0.93	0.95	0.89	0.89	1.00	0.99
ST	0.43	0.41	0.54	0.69	-0.08	0.66	0.39	0.96	0.98	0.89	0.93	0.99	1.00

La matriz de correlación con las CMOV presenta una mayor correlación entre los parámetros hidrológico-hidráulicos y los contaminantes analizados que las dos anteriores. El volumen, caudal medio de suceso (ambos directamente relacionados) y la precipitación total correlacionan bien con las cargas movilizadas.

7.5.2. Índices de predicción de la contaminación

Una vez analizadas las matrices del apartado anterior se pueden ver tendencias entre parámetros que ayudan a la comprensión del comportamiento de la cuenca. No obstante, es importante señalar que se refleja con claridad que ninguno de los parámetros hidrológico-hidráulicos, de manera individual, puede servir para predecir el comportamiento de movilización de contaminación de la cuenca "Ensanche" con cierta exactitud, por ello, se han elaborado índices multivariable con algunos de los parámetros hidrológico-hidráulicos, incluidos en las matrices de correlación anteriores, que puedan predecir las concentraciones máximas, medias y cargas movilizadas de los contaminantes analizados esperables durante los sucesos de lluvia en la cuenca estudiada. En este apartado tan solo se han tenido en cuenta los principales parámetros de contaminación medidos en la cuenca: *SS, ST, DQO, DBO₅, N y P* totales.

La elaboración de estos índices es de gran utilidad puesto que sin la necesidad de la realización de tomas de muestra ni determinaciones analíticas se puede conocer la movilización de la contaminación en cada suceso de la cuenca en términos cuantitativos simplemente con la instalación de un equipo de medición de caudal, lo cual supone un importante ahorro en medios y una mayor sencillez en la gestión y explotación de la sección de control.

Se ha trabajado en tres tipos de índices de predicción de comportamiento de contaminación de la cuenca:

- **Índice de primer lavado (IPL)** que predice la concentración máxima de suceso.
- **Índice de concentración media de suceso (Icms)** que relaciona los parámetros hidráulicos del suceso con la CMS de los contaminantes estudiados.
- **Índice de movilización específica (Imove)** con el que se conoce la movilización de los contaminantes durante un suceso de lluvia midiendo las variables hidráulicas del mismo.

Las variables consideradas en la elaboración de estos índices han sido las siguientes:

- DTSP: días de tiempo seco precedente (días).
- Qmax: caudal máximo registrado en el suceso muestreado (L/s).
- Qm: caudal medio de suceso (L/s).
- QmTS: caudal medio diario de tiempo seco (L/s).
- Δt_{pl} : tiempo transcurrido desde el comienzo del suceso hasta el instante en el que se alcanza el caudal máximo en el hidrograma (min).
- Δt : tiempo de duración del suceso de lluvia (min).
- t_c : tiempo de concentración de la cuenca (10 – 15 min)
- V_{suc} : volumen de agua pluvial mixta en el suceso muestreado (m³).
- A_{neta} : área neta de la cuenca drenante (18.0 ha).

Es muy importante resaltar que la medición de algunas variables que componen estos índices requiere enorme exactitud; es decir, una ligera variación en la determinación de las mismas puede influir enormemente en el valor del índice de predicción, especialmente el Δt_{pl} .

También es básico recalcar que los posibles errores intrínsecos en el procedimiento de toma de muestra de los sucesos, tales como arranque retardado del tomamuestras con la

consecuente parte inicial del hidrograma de dicho evento no muestreado, o la necesidad, debido al gran número de parámetros a determinar, de un volumen de 3L por muestra con las implicaciones que conlleva mezclar botellas con concentraciones, en algún caso, visualmente diferentes, pueden influir, de manera notable, en los valores de concentraciones características de suceso (máximas y medias) y en las cargas movilizadas.

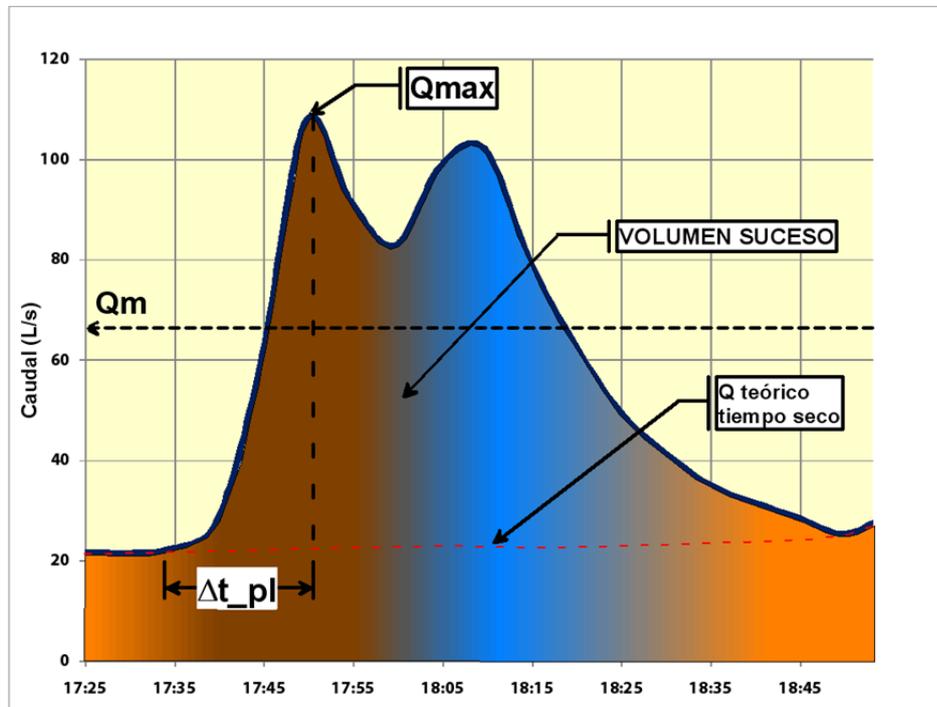


Figura 7-305. Variables hidráulicas de suceso consideradas en los índices de predicción.

7.5.2.1. Índice de primer lavado (IPL)

El índice de primer lavado (**IPL**) predice, como ya se ha comentado, la concentración máxima que un contaminante puede alcanzar durante un suceso de lluvia. El índice presenta unidades de tiempo (días). La ecuación que lo describe es la siguiente:

$$I_{PL} = DTSP \cdot \frac{(Q_{max}/Q_{mTS})}{(\Delta t_{pl}/t_c)} \quad (\text{días})$$

El **IPL** representa la máxima capacidad instantánea de lavado de la superficie de la cuenca y su red de saneamiento y drenaje, es decir, es el índice que indica la capacidad de primer lavado de cada suceso, por ello se correlaciona con la CMAX del mismo. Las variables tenidas en cuenta son, por un lado, el grado de acumulación de contaminación en cuenca y colectores, representado por los días de tiempo seco precedente (DTSP) y, por otro lado, las variables hidrológico-hidráulicas indicativas de la capacidad energética máxima del suceso, la proporción de caudal máximo con respecto al medio de tiempo seco y el tiempo que tarda en alcanzarse dicho caudal máximo desde el comienzo del evento con respecto al tiempo de concentración de la cuenca. Los parámetros de caudal medio de tiempo seco (Q_{mTS}) y tiempo de concentración de la cuenca (t_c) se han introducido en la ecuación con el objetivo de normalizar el índice, con el propósito de aplicarlo en futuras cuencas a estudiar y, de este modo, disponer de la posibilidad de comparar valores entre cuencas. El **IPL** posee unidades de tiempo (días), es decir, potencial de "acumulación".

Si aplicamos este índice a los sucesos muestreado en "Ensanche" obtenemos los siguientes resultados.

Tabla 7-32. Aplicación del índice de primer lavado a los sucesos registrados en la cuenca "Ensanche".

SUCESO	DTSP (días)	Qmax (L/s)	Δt_pl (min)	I PL (días)	CONCENTRACIONES MÁXIMAS DE SUCESO (mg/L)					
				$DTSP \cdot (Q_{max} / Q_{mTS}) / (\Delta t_{pl}/tc)$	SS	ST	DQO	DBO ₅	N total	P total
SUC_1	13.58	90.6	45	12.2	437	902	886	580	87	11.8
SUC_2	4.83	446.8	20	48.2	2240	2542	3388	1700	111	24.8
SUC_3	9.92	70.6	65	4.8	804	1132	1639	946	59	11.6
SUC_4	0.813	76.1	15	1.8	636	952	1221	540	72	9.7
SUC_5	6.91	107.5	15	22.1	1580	1848	2142	1328	79	18.7
SUC_6	0.167	71.8	20	0.3	568	872	1273	620	62	9.7
SUC_7	6.33	139.0	20	19.6	1668	2048	3062	1650	92	22.6
SUC_8	0.167	204.5	13	1.2	572	904	1081	580	42	6.6
SUC_9	14.42	106.1	18	37.9	2708	3260	3868	2100	172	28.4
SUC_10	22.93	103.6	25	42.4	3185	3452	3044	2100	93	24.8

Si se representa el IPL frente las CMAX de sólidos en suspensión para los sucesos muestreados.

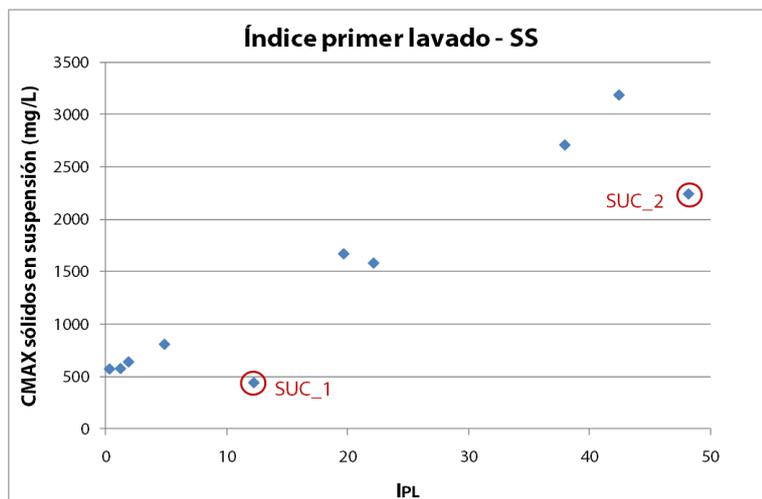


Figura 7-306. Índice de primer lavado frente a las CMAX de SS en la cuenca de "Ensanche".

Como se puede apreciar en la figura anterior, existen dos sucesos en los que las concentraciones máximas de SS medidas son inferiores a las esperadas según el IPL, estos sucesos han sido el primero (SUC_1), de escasa pluviometría, y el segundo (SUC_2) con el mayor registro de precipitaciones de los diez muestreados; este hecho puede explicarse mediante causas bien diferentes. La pluviometría del SUC_1, como se ha comentado, fue muy escasa (poco más de 1 mm) lo cual tuvo las siguientes implicaciones: la red de saneamiento y drenaje no fue lavada completamente durante el suceso y, a esto hay que añadir que, la toma de muestras comenzó con retraso, por lo que pudo no ser muestreado el tramo de hidrograma con mayor concentración de SS. Por otro lado, el SUC_2 fue "demasiado" energético para las limitaciones en la toma de muestra existentes (necesidad de un volumen de 3L por muestra), es decir, la intensidad pluviométrica durante los primeros 20 minutos del aguacero fue elevada (15 mm/h), lo cual originó un hidrograma muy apuntado. La primera muestra del suceso, formada por las 3 primeras botellas de 1L del tomamuestras, correspondió al tramo ascendente del hidrograma en el que el caudal, durante el intervalo de toma de esta primera muestra (aproximadamente 6 minutos) pasó de 75 L/s (~3·Qm), al comienzo del muestreo de la primera botella, a los 400 L/s en la parte

final; la tercera botella poseía visualmente una carga contaminante en SS inferior (que no baja) a las dos primeras debido al comienzo del agotamiento del lavado de sedimentos de la red. En este caso, el procedimiento empleado de agrupación en tríos consecutivos de las botellas de 1L del tomamuestras fue erróneo para la determinación de la concentración máxima de SS debido a que, con toda probabilidad, dicha concentración en las dos primeras botellas fuese similar a la esperada según el **IPL**. Por ello, si se descartan ambos sucesos, se obtiene un buen ajuste por mínimos cuadrados, principalmente para los parámetros de contaminación de SS y ST.

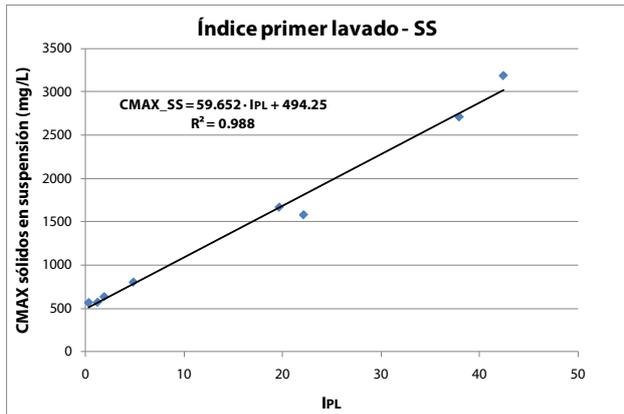


Figura 7-307. Relación entre el IPL y las CMAX de SS en la cuenca de "Ensanche".

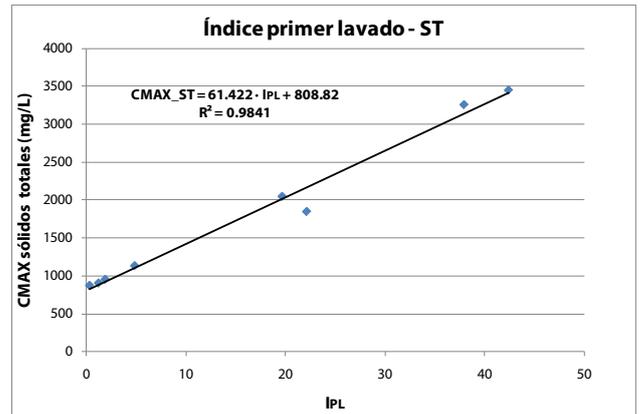


Figura 7-308. Relación entre el IPL y las CMAX de ST en la cuenca de "Ensanche".

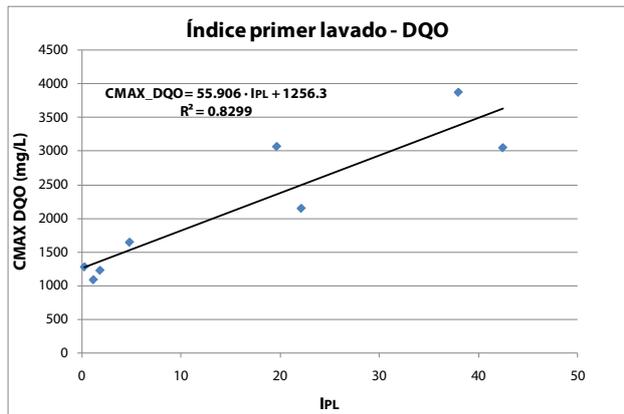


Figura 7-309. Relación entre el IPL y las CMAX de DQO en la cuenca de "Ensanche".

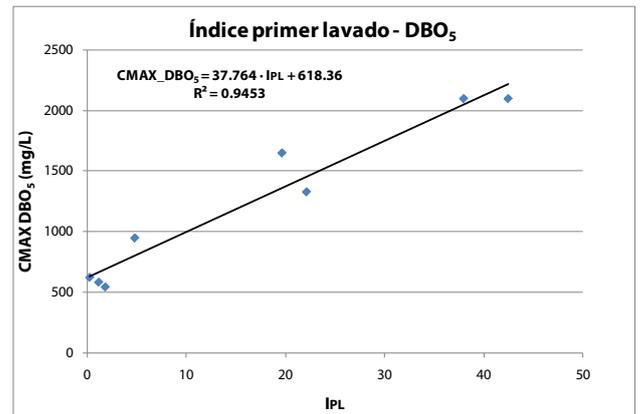


Figura 7-310. Relación entre el IPL y las CMAX de DBO5 en la cuenca de "Ensanche".

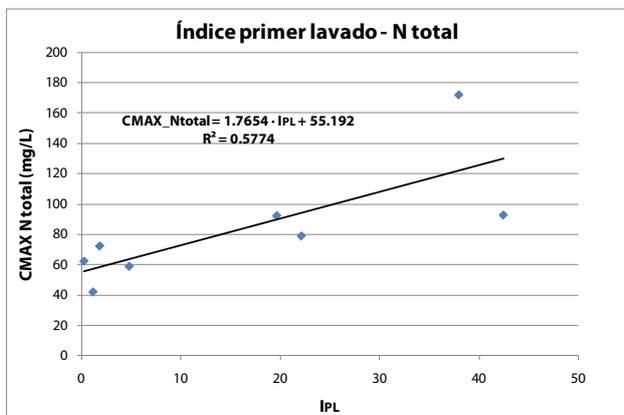


Figura 7-311. Relación entre el IPL y las CMAX de N total en la cuenca de "Ensanche".

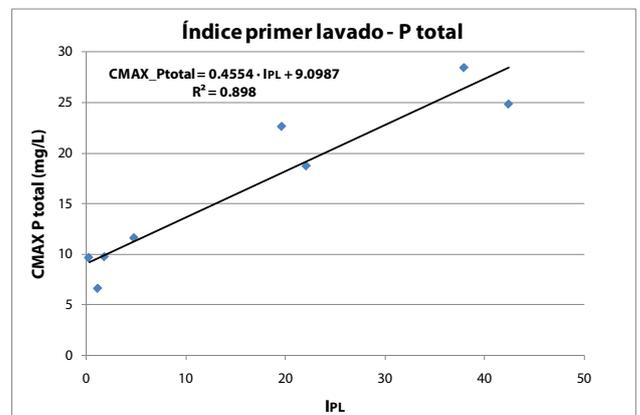


Figura 7-312. Relación entre el IPL y las CMAX de P total en la cuenca de "Ensanche".

El término independiente de la ecuación resultante de cada regresión lineal realizada para cada contaminante analizado representa la concentración máxima mínima esperable en los sucesos de lluvia de la cuenca. Estos valores según el ajuste entre el **IPL** y los contaminantes estudiados son los siguientes.

Tabla 7-33. CMAX mínimas esperables en los sucesos de "Ensanche" a partir del ajuste con el IPL.

Parámetro de contaminación	CMAX mínima (mg/L) según ajuste mediante IPL
SS	500
ST	800
DQO	1250
DBO ₅	600
N total	55
P total	9

Si se contrastan los resultados reflejados en la tabla anterior con las distribuciones de probabilidad acumulada obtenidas en el apartado del tratamiento estadístico de resultados para las CMAX de cada contaminante se observa que éstos se sitúan en torno al 10 – 15% de probabilidad de no ser superados en un suceso de lluvia. Este hecho es debido a la no consideración del SUC_1 (de escasa pluviometría, retardo en el muestreo del mismo y con una CMAX claramente inferior al resto de sucesos) en el ajuste por mínimos cuadrados a partir del **IPL**, mientras que, en el tratamiento estadístico, se incluyeron todos los sucesos sin excepción.

7.5.2.2. Índice de concentración media de suceso (Icms)

El *índice de concentración media de suceso (Icms)* surge para poder estimar la CMS de un contaminante durante un suceso de lluvia a partir de parámetros hidráulicos característicos del mismo, los cuales son más sencillos de obtener. La ecuación que describe el **Icms** es la siguiente:

$$I_{CMS} = DTSP \cdot \frac{(Q_{max}/Q_{mTS})}{\left(\frac{\Delta t_{pl}}{t_c} \cdot \frac{V_{SUC}}{A_{neta}}\right)} \quad (\text{días/mm})$$

El **Icms** surge a partir del **IPL** considerándose que una vez se ha alcanzado la máxima capacidad de lavado de la superficie de la cuenca y su red, o lo que es lo mismo, partiendo de la concentración máxima de suceso consecuencia del "first flush", comienza una disminución en la fuente de aporte de contaminación proporcional al volumen de agua pluvial mixta del suceso muestreado cuyo resultado final puede correlacionarse con las CMS de los contaminantes estudiados. Este índice tiene unidades de tiempo entre precipitación (días/mm), o lo que es lo mismo, "acumulación", asimilable a masa, entre unidades de precipitación, asimilable a volumen. Se ha normalizado con la introducción en la ecuación del tiempo de concentración y el área neta de la cuenca con el mismo objetivo que el índice anterior, la posibilidad de emplearlo en otras cuencas y poder comparar los resultados obtenidos.

La aplicación de este índice en los sucesos muestreados en la cuenca del “Ensanche” refleja los resultados presentados en la siguiente tabla.

Tabla 7-34. Aplicación del índice de concentración media de suceso a la cuenca de “Ensanche”.

SUCESO	DTSP (días)	Qmax (L/s)	V suc (m ³)	Δt _{pl} (min)	I CMS (días/mm)	CONCENTRACIONES MEDIAS DE SUCESO (mg/L)					
					$DTSP \cdot (Q_{max}/Q_{mTS}) / ((\Delta t_{pl}/tc) \cdot (V_{suc}/A_{neta}))$	SS	ST	DQO	DBO ₅	N total	P total
SUC_1	13.58	90.6	282	45	7.9	278	689	652	405	80	10.4
SUC_2	4.83	446.8	993	20	8.9	362	472	536	260	28	4.9
SUC_3	9.92	70.6	820	65	1.1	471	644	860	426	37	6.9
SUC_4	0.813	76.1	221	15	1.5	391	678	795	380	51	7.3
SUC_5	6.91	107.5	311	15	13.0	555	793	1049	609	41	8.9
SUC_6	0.167	71.8	336	20	0.1	304	513	707	368	40	6.0
SUC_7	6.33	139.0	658	20	5.5	383	602	821	405	29	7.0
SUC_8	0.167	204.5	221	13	1.0	263	444	512	263	21	4.3
SUC_9	14.42	106.1	167	18	41.6	1447	1986	2405	1348	118	19.0
SUC_10	22.93	103.6	380	25	20.5	811	1107	1175	655	45	8.6

Se representa el **ICMS** frente a los resultados obtenidos de CMS de sólidos en suspensión en la campaña de campo.

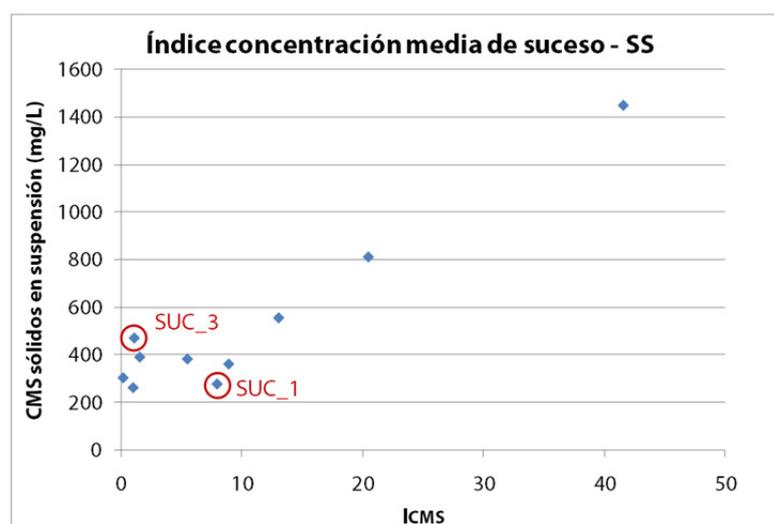


Figura 7-313. Índice de concentración media de suceso frente a las CMS de SS en la cuenca de “Ensanche”.

De la figura anterior se han descartado los SUC_1 y SUC_3 dado que las CMS no son del todo fiables debido a que, en ambos casos, el muestreo de los sucesos comenzó con cierto retardo debido a su tipología, la intensidad pluviométrica inicial fue escasa por lo que la cuenca y red fueron lavándose lentamente pero sin niveles de agua suficientes en el colector de la sección de control para que el caudalímetro proporcionase la señal de arranque al tomamuestras, imposibilitando este hecho la caracterización de la parte inicial del hidrograma de cada suceso en cuestión.

Se obtienen buenos ajustes por mínimos cuadrados, especialmente y de manera análoga al apartado anterior, en los SS y ST. Los resultados son los siguientes:

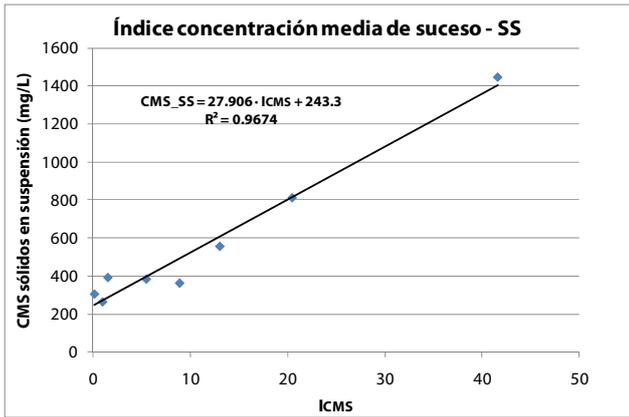


Figura 7-314. Relación entre el ICMS y las CMS de SS en la cuenca de “Ensanche”.

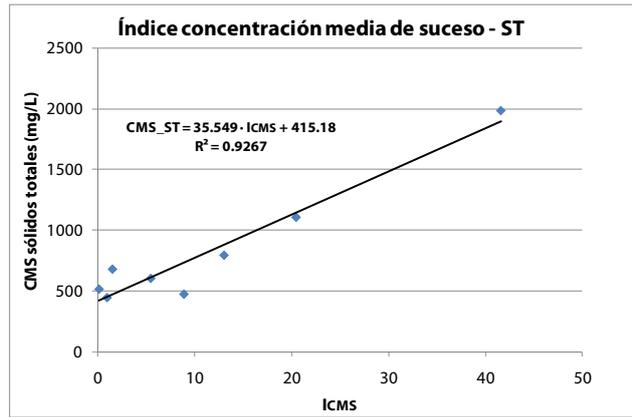


Figura 7-315. Relación entre el ICMS y las CMS de ST en la cuenca de “Ensanche”.

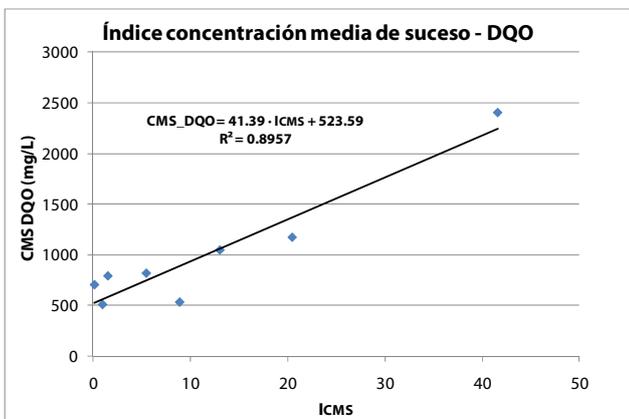


Figura 7-316. Relación entre el ICMS y las CMS de DQO en la cuenca de “Ensanche”.

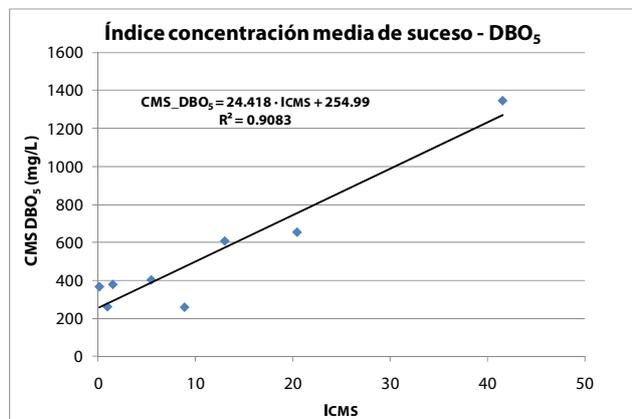


Figura 7-317. Relación entre el ICMS y las CMS de DBO₅ en la cuenca de “Ensanche”.

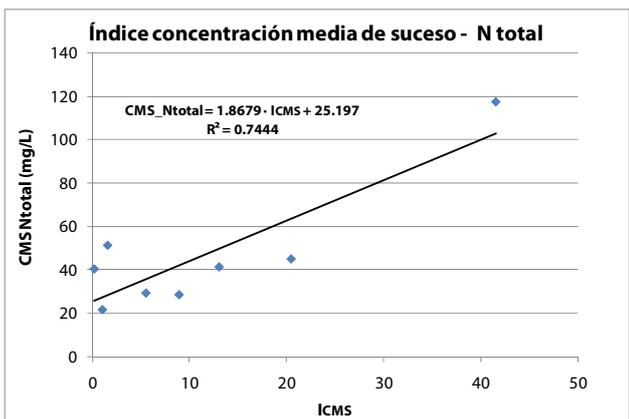


Figura 7-318. Relación entre el ICMS y las CMS de N total en la cuenca de “Ensanche”.

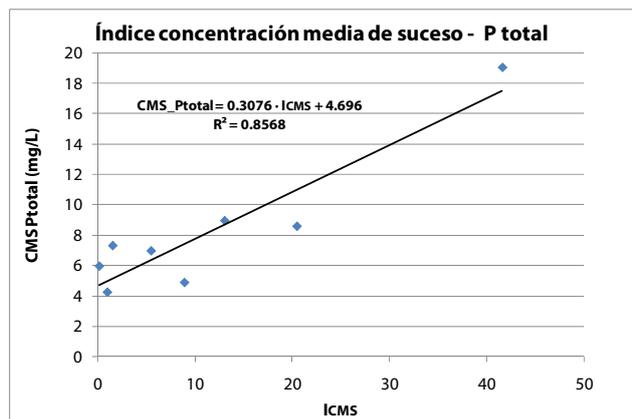


Figura 7-319. Relación entre el ICMS y las CMS de P total en la cuenca de “Ensanche”.

De forma análoga al caso del **IPL**, el término independiente de la ecuación resultante de cada regresión lineal realizada para cada contaminante analizado, en este caso representa la CMS mínima esperable en los sucesos de lluvia de la cuenca. Estos valores según el ajuste entre el **ICMS** y los contaminantes estudiados son los siguientes:

Tabla 7-35. CMS mínimas esperables en los sucesos de "Ensanche" a partir del ajuste con el ICMS.

Parámetro de contaminación	CMS mínima (mg/L) según ajuste mediante IPL	Agua residual de tiempo seco "Ensanche" CMDTS (mg/L)
SS	250	227
ST	400	553
DQO	500	660
DBO ₅	250	390
N total	25	55
P total	5	7.5

Los valores de esta tabla se corresponden con los que se obtienen en las distribuciones de probabilidad acumulada de cada contaminante para una probabilidad del 5% de no ser superadas estas CMS.

Estos valores de CMS mínimas de SS, DQO y DBO₅ son los de un agua residual típica de tiempo seco de concentración media (Metcalf & Eddy, 1991).

7.5.2.3. Índice de movilización específica (MOVE)

El índice de movilización específica **MOVE** predice la movilización de masa en tiempo de lluvia de los sólidos en suspensión en la cuenca de "Ensanche" partiendo de las variables hidráulicas características en cada suceso. Se han elaborado hasta 6 índices de movilización específica diferentes, se presentan a continuación:

$$I_{MOVE_1} = DTSP \cdot Qm^{(1-\frac{QmTS}{Qmax})}$$

$$I_{MOVE_2} = Qmax \cdot DTSP \cdot e^{(1-\frac{QmTS}{Qm})}$$

$$I_{MOVE_3} = DTSP \cdot \left(\frac{Qmax}{QmTS}\right)^{(1-\frac{QmTS}{Qm})}$$

$$I_{MOVE_4} = Qm \cdot DTSP^{(1-\frac{QmTS}{Qmax})}$$

$$I_{MOVE_5} = Qmax \cdot DTSP \cdot e^{(\frac{-1}{Qm})}$$

$$I_{MOVE_6} = DTSP + \left(\frac{Qmax}{QmTS}\right)^{(\Delta t-\frac{QmTS}{Qm})}$$

Se han calculado los diferentes índices **MOVE** para todos los sucesos de lluvia muestreados en la cuenca a excepción del SUC_1, que se ha excluido del análisis debido a su escasa pluviometría y el retardo en la toma de muestra durante el mismo, lo cual ha implicado una importante pérdida de información en la parte inicial del hidrograma. Los resultados obtenidos para los diferentes **MOVE** y las cargas movilizadas de SS por hectárea para cada suceso se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7-36. Resultados de los índices de movilización específica y cargas específicas movilizadas de SS.

SUCESOS	Imove 1	Imove 2	Imove 3	Imove 4	Imove 5	Imove 6	Carga específica movilizada de SS (kg/ha)
SUC_2	684	5193	67	820	2146	31	14.5
SUC_3	451	2858	39	663	1307	16	10.1
SUC_4	24	199	2	49	106	5	5.6
SUC_5	186	1423	19	296	731	11	7.4
SUC_6	4	29	0.4	17	15	4	3.3
SUC_7	448	2472	34	671	1065	15	11.1
SUC_8	11	75	1	21	34	2	2.6
SUC_9	410	3015	41	572	1508	16	10.4
SUC_10	847	5914	80	1062	2832	28	15.7

Los ajustes a una regresión lineal de los valores resultantes para los índices de movilización frente a las CMOV de SS se representan a continuación.

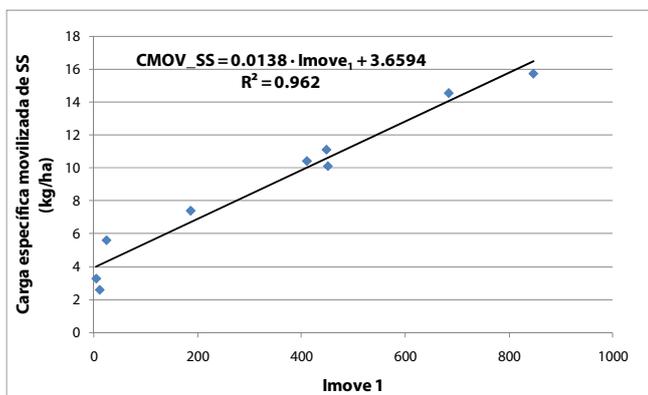


Figura 7-320. Relación entre el Imove₁ y las CMOV de SS.

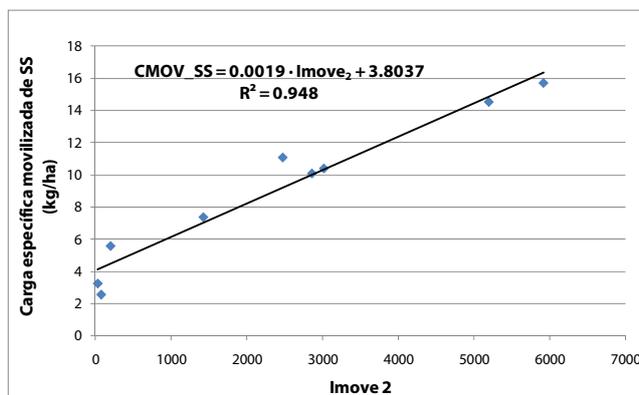


Figura 7-321. Relación entre el Imove₂ y las CMOV de SS.

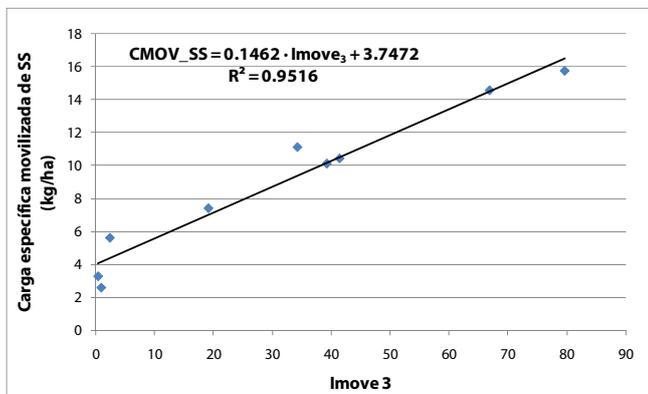


Figura 7-322. Relación entre el Imove₃ y las CMOV de SS.

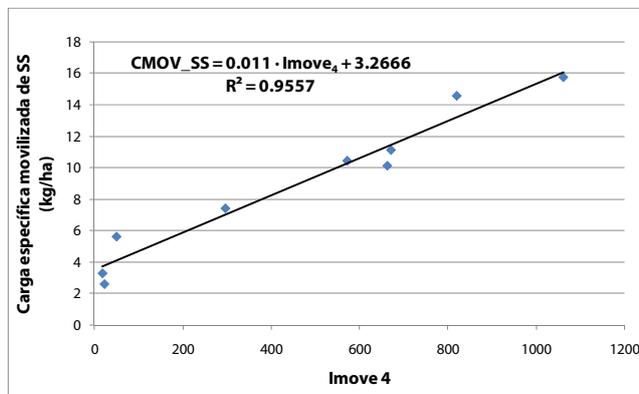


Figura 7-323. Relación entre el Imove₄ y la CMOV de SS.

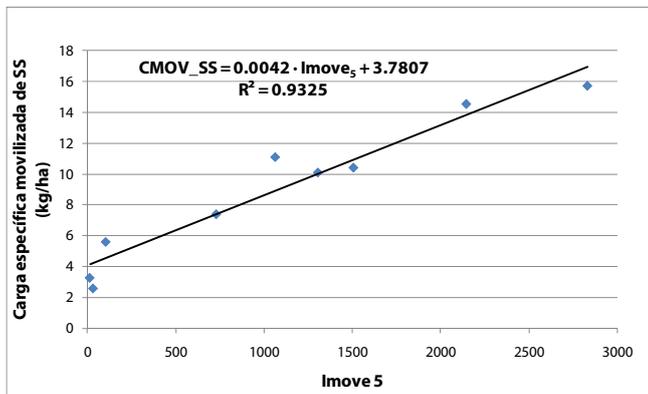


Figura 7-324. Relación entre el Imove₅ y la CMOV de SS.

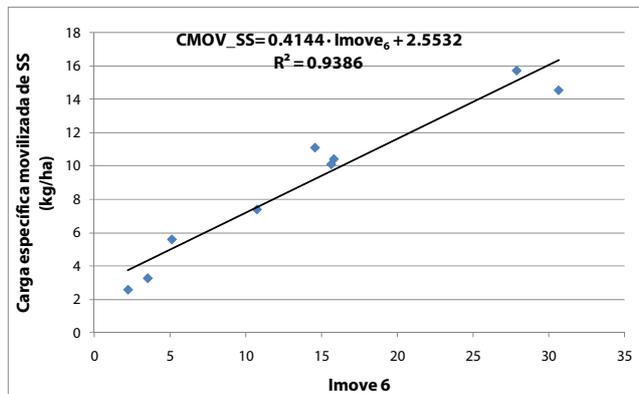


Figura 7-325. Relación entre el Imove₆ y la CMOV de SS.

De los seis índices de movilización se ha seleccionado el **MOVE_6** como el más representativo debido, fundamentalmente, a dos razones; la primera es que se ajusta moderadamente bien a una regresión lineal con término independiente igual a cero, lo cual tiene un sentido real puesto que, sin suceso pluviométrico, las cargas movilizadas son igual a cero, a diferencia de las concentraciones que en tiempo seco sí existen.

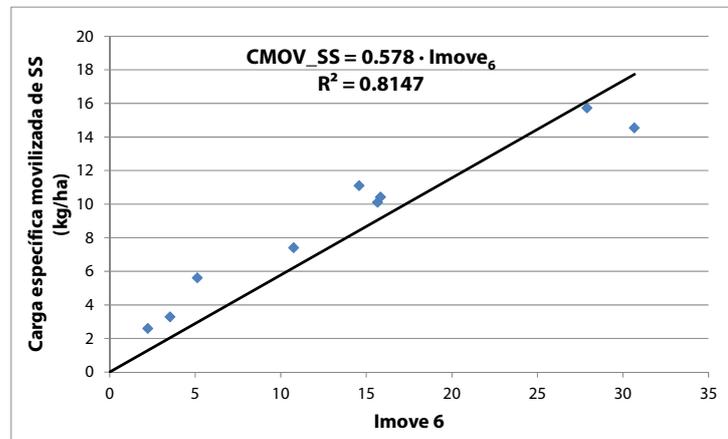


Figura 7-326. Ajuste lineal del Move.

La segunda razón, y la de mayor peso, se basa en que el grado de ajuste a una regresión logarítmica es mejor con respecto a la lineal (Figura 7-327). Cabe destacar que, en este tipo de ajuste, el término independiente no es igual a cero sino que es negativo. Esto indica que existe un valor umbral del índice de movilización (2.6 aproximadamente) por debajo del cual no se genera movilización de la contaminación en la cuenca, sería un término homólogo a la detracción inicial en el caso del cálculo hidráulico del volumen de escorrentía generado.

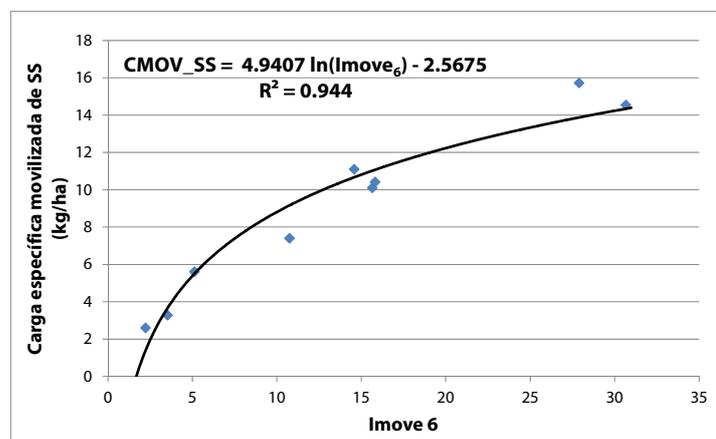


Figura 7-327. Ajuste logarítmico del Move.

El ajuste razonable a una logarítmica es muy significativo puesto que parece lógico que la movilización de contaminación en la cuenca posea una tendencia asintótica debido al agotamiento de los sedimentos, tanto en la superficie de la cuenca como en el sistema de saneamiento y drenaje. Por tanto es probable que se hayan muestreado sucesos pertenecientes a la rampa inicial ascendente de un ajuste logarítmico dado que la pluviometría de los sucesos caracterizados en la cuenca ha sido, en general, baja. Este hecho se demuestra al extrapolar la línea de tendencia logarítmica hacia delante, es decir, aumentando el tiempo seco precedente y/o los parámetros hidráulicos del suceso.

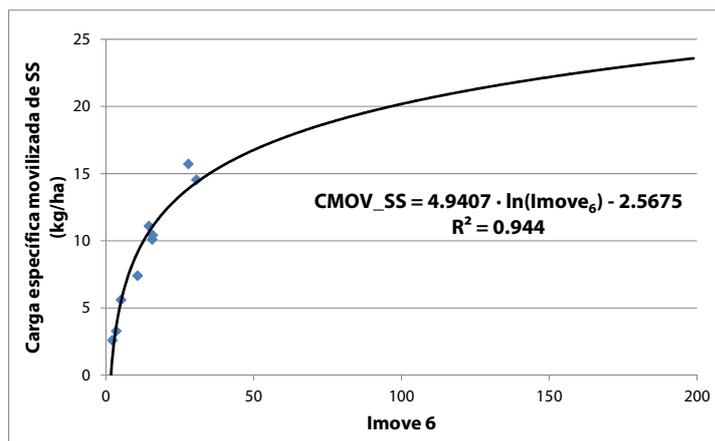


Figura 7-328. Ajuste logarítmico del Imove con extrapolación.

Al observar la figura anterior, parece que el valor asintótico para la movilización de los sólidos en suspensión es de 25 kg/ha.

La ecuación que describe el **MOVE** consta de dos términos, uno representa el potencial de acumulación de contaminación en la cuenca y, el otro, el potencial de lavado de esa contaminación acumulada a lo largo de todo el evento pluviométrico.

$$I_{MOVE} = DTSP + \left(\frac{Q_{max}}{Q_{mTS}} \right)^{\left(\Delta t - \frac{Q_{mTS}}{Q_m} \right)}$$

Este índice, al igual que los dos anteriores, está normalizado con la introducción del caudal medio diario de tiempo seco (QmTS), por lo que puede aplicarse a otras cuencas y comparar los valores obtenidos.

7.6. SUSTANCIAS PRIORITARIAS Y PPCPs

7.6.1. Sustancias prioritarias

La cantidad de sustancias prioritarias caracterizadas en la cuenca “Ensanche” ha sido amplia, por lo que se han seleccionado los parámetros agregados por tipología de contaminantes para su análisis en detalle. Dichos parámetros han sido los aceites y grasas, hidrocarburos aromáticos policíclicos totales (HAPs totales), hidrocarburos totales de petróleo (H-C totales) y los compuestos orgánicos volátiles totales (COVs totales).

Los rangos de concentraciones máximas y medias obtenidos en las campañas de campo, tanto en tiempo seco como de lluvia para estos compuestos, se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 7-37. Rangos de concentraciones máximas y medias obtenidos en la cuenca “Ensanche” para las sustancias prioritarias seleccionadas.

Rangos de concentraciones (µg/L)	Aceites y grasas (mg/L)		HAPs totales		H-C de petróleo totales		COVs totales	
	Tiempo seco	Tiempo de lluvia	Tiempo seco	Tiempo de lluvia	Tiempo seco	Tiempo de lluvia	Tiempo seco	Tiempo de lluvia
CMAx	18.0 - 138.6	30.4 - 197.5	8.9 - 11.1	0.7 - 72.3	1.2 - 2.2	1.2 - 10.6	14.6 - 17.6	9.7 - 24.5
CMDTS / CMS	7.7 - 71.6	11.3 - 87.6	3.5 - 5.0	0.5 - 36.8	1.0 - 1.3	1.1 - 4.0	12.2 - 15.1	8.7 - 14.2

CMDTS: Concentración media diaria de tiempo seco.

Se han tratado estadísticamente los datos obtenidos realizando tanto ajustes a la función de distribución lognormal de probabilidad acumulada como diagramas de distribución de datos “box-whisker” para las concentraciones máximas y medias obtenidas en tiempo de

lluvia de aceites y grasas. Además, también se han comparado mediante el mismo procedimiento estadístico todas las concentraciones obtenidas en tiempo seco y en tiempo de lluvia para cada sustancia.

A continuación pueden observarse los resultados para los aceites y grasas, cuyos valores medios esperables de concentraciones máximas y medias de suceso son aproximadamente de 100 mg/L y 50 mg/L respectivamente. Al comparar todos los datos de aceites y grasas de tiempo de lluvia con los de tiempo seco se aprecia una gran similitud en el rango de concentraciones, exceptuando algunos valores elevados obtenidos al comienzo de determinados eventos pluviométricos.

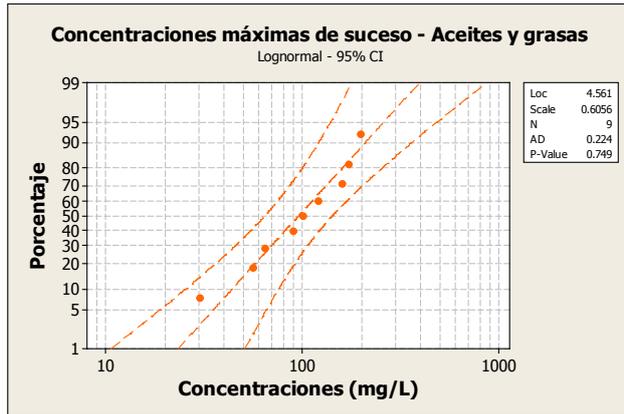


Figura 7-329. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de Aceites y grasas.

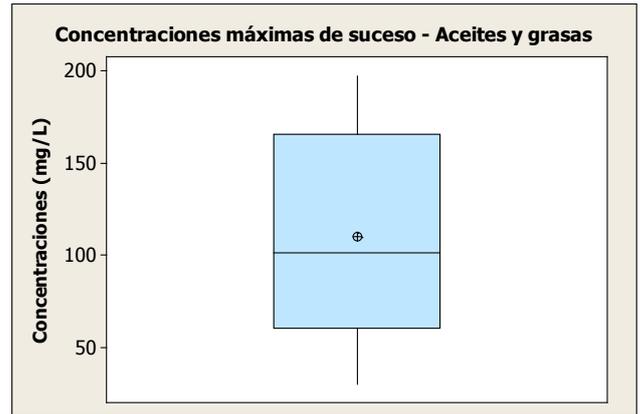


Figura 7-330. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de Aceites y grasas.

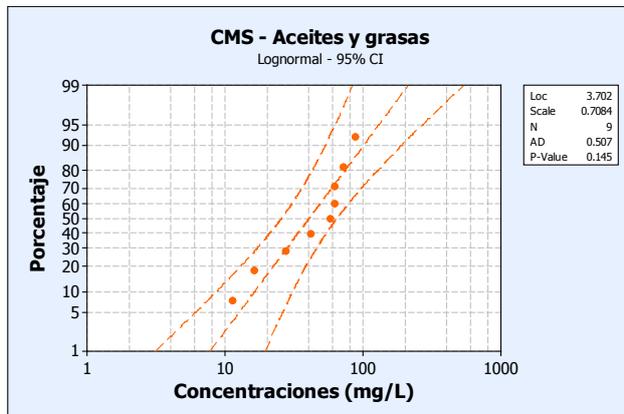


Figura 7-331. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de Aceites y grasas.

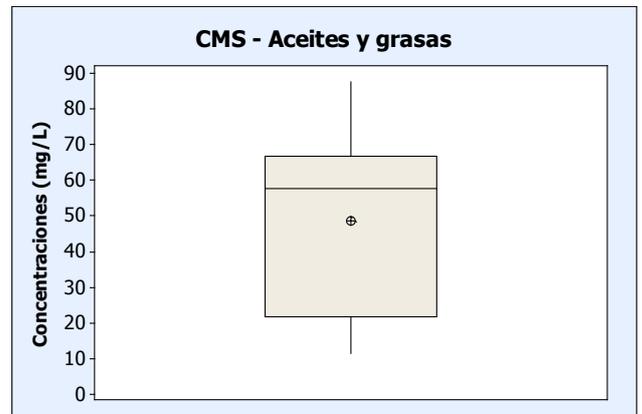


Figura 7-332. Diagramas de distribución de datos para las CMS de Aceites y grasas.

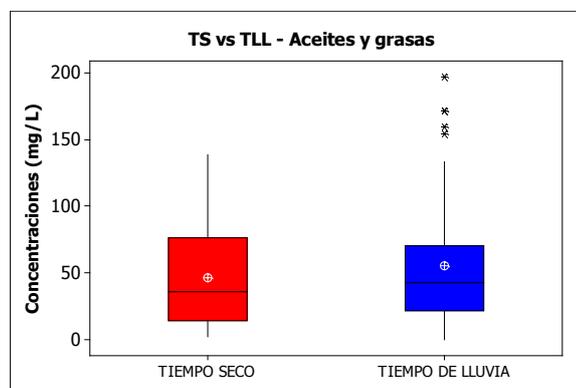


Figura 7-333. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de Aceites y grasas en tiempo seco y de lluvia.

La comparación de las concentraciones obtenidas en tiempo de lluvia con las de tiempo seco para el resto de sustancias prioritarias seleccionadas ha inducido las siguientes conclusiones:

- Las funciones de distribución de probabilidad acumulada para las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en el caso de los HAPs y COVs se cruzan, con una menor pendiente para el ajuste de tiempo de lluvia. Este hecho indica que existen valores más extremos y menos agrupados de concentración en tiempo de lluvia para estas sustancias, fenómeno que se corrobora al observar los diagramas de distribución de datos en la figura 7-337.
- Las concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo son superiores en tiempo de lluvia como puede comprobarse en la figura 7-335.
- Las concentraciones máximas para estos parámetros se han obtenido en tiempo de lluvia siendo de 70 µg/L y 25 µg/L para los HAPs y COVs, respectivamente.
- No obstante, los valores medios esperables son similares en ambos escenarios para los HAPs y COVs, siendo éstos entre 5 – 10 µg/L y 10 – 15 µg/L respectivamente.

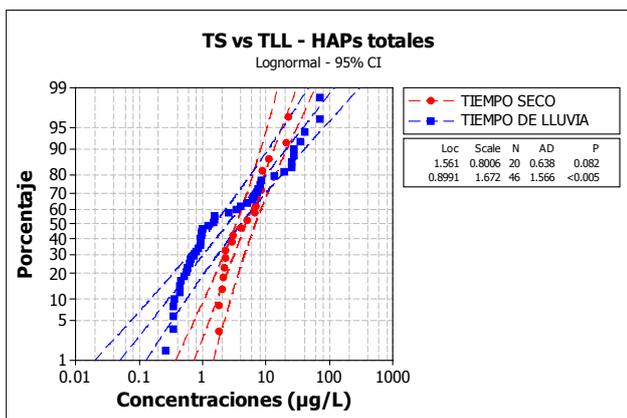


Figura 7-334. Distribución de probabilidad acumulada para las concentraciones de HAPs totales en tiempo seco y de lluvia.

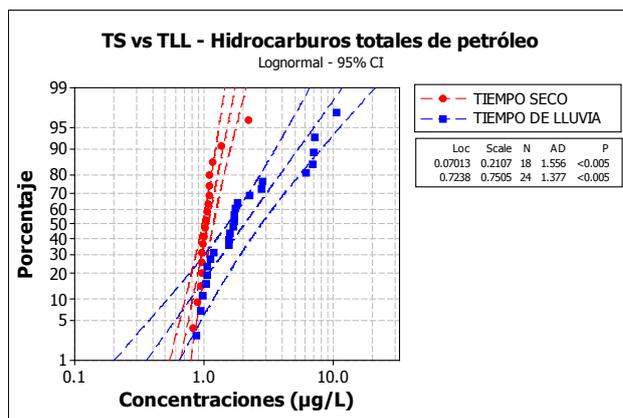


Figura 7-335. Distribución de probabilidad acumulada para las concentraciones de H-C totales de petróleo en tiempo seco y de lluvia.

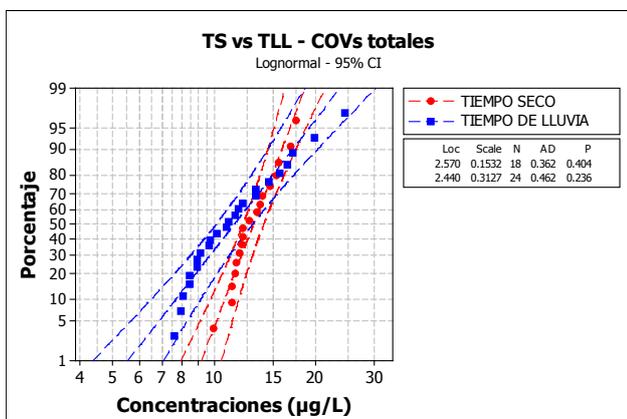


Figura 7-336. Distribución de probabilidad acumulada para las concentraciones de COVs totales en tiempo seco y de lluvia.

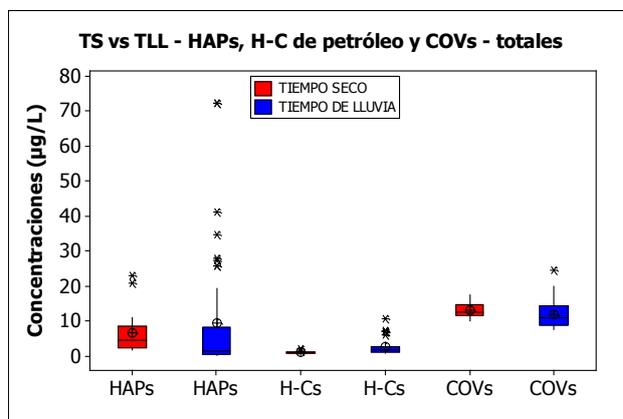


Figura 7-337. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de HAPs, H-C y COVs totales en tiempo seco y de lluvia.

Se han comparado los resultados, de tiempo seco y de lluvia, obtenidos en la cuenca "Ensanche" para los HAPs y COVs totales con los publicados por Gasperi et al. (2008a) en su estudio de la extensa cuenca de París, denominada "París intramuros", con una superficie total de 10,500 ha (105 km²), muy superior a las escasas 20 ha de la compostelana "Ensanche", y con una población superior a los 2 millones de habitantes. Esta cuenca parisina es de tipo urbana densa con alta actividad comercial y residencial; por el contrario, su actividad industrial es escasa. Su superficie impermeable es aproximadamente del 70%. Las características de ambas cuencas son similares en cuanto a actividades y tipología, con una gran diferencia en extensión, como se ha comentado.

Tabla 7-38. Comparación de las concentraciones de HAPs y COVs totales entre la cuencas "Ensanche" y "París intramuros".

Concentraciones (µg/L)	TIEMPO SECO				TIEMPO DE LLUVIA			
	Mediana		Concentración máxima		Mediana		Concentración máxima	
	"París intramuros" ¹	"Ensanche"						
HAPs totales	0.1	4.5	0.3	11.1	0.7	1.4	3.1	72.3
COVs totales	10.1	12.5	120	17.6	7.8	11.0	554	24.5

¹ Gasperi et al. (2008a)

De la tabla anterior se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- ✓ Los valores de concentración para los HAPs totales, tanto la mediana como el máximo, son claramente superiores en tiempo de lluvia en ambas cuencas con respecto a tiempo seco.
- ✓ La concentración mediana para los COVs totales es similar tanto en ambos escenarios climatológicos para cada cuenca como entre ellas. No obstante, los valores máximos son superiores en la cuenca parisina, especialmente en tiempo de lluvia.
- ✓ La concentración máxima de COVs totales en el "Ensanche" es superior en tiempo de lluvia.
- ✓ Las concentraciones de HAPs totales son superiores en la cuenca "Ensanche" con respecto a los de "París intramuros" tanto en tiempo seco como de lluvia.

A modo de resumen, se puede concluir que el agua residual de tiempo de lluvia de la cuenca "Ensanche" presenta una concentración media de las sustancias prioritarias estudiadas en este apartado similar al agua residual de tiempo seco.

7.6.2. Contaminantes emergentes o PPCPs

Los contaminantes emergentes, también denominados microcontaminantes o PPCPs ("Pharmaceuticals and Personal Care Products", en inglés) analizados en la cuenca "Ensanche" han sido once, cuatro de ellos, el 17-β-estradiol y los antibióticos amoxicilina, flumequina y enrofloxacin se han detectado en un porcentaje reducido de muestras y con unas concentraciones muy bajas, tanto en tiempo seco como de lluvia, por ello se han descartado para su análisis en este apartado. Los que se han considerado para su estudio en detalle han sido: las fragancias, HHCB galaxolide y AHTN tonalide, los antiinflamatorios ibuprofeno y diclofenaco, la carbamazepina (antiepiléptico), el paracetamol (analgésico), y la cafeína (estimulante).

7.6.2.1. Concentraciones máximas y medias de suceso

El análisis de los resultados obtenidos para las concentraciones máximas y medias de suceso de los contaminantes emergentes seleccionados se presenta en estas tablas.

Tabla 7-39. Análisis de concentraciones máximas de suceso obtenidas en la cuenca "Ensanche".

CMAX (µg/L)	HHCB Galaxolide	AHTN Tonalide	Ibuprofeno	Diclofenaco	Carbamazepina	Cafeína	Paracetamol
MÁXIMO	9.8	2.6	8.5	0.31	0.07	32.9	5.7
MÍNIMO	1.3	0.2	0.5	0.01	0.01	1.3	0.2
PROMEDIO	3.4	1.0	3.0	0.10	0.03	16.0	1.9

Tabla 7-40. Análisis de concentraciones medias de suceso obtenidas en la cuenca "Ensanche".

CMS (µg/L)	HHCB Galaxolide	AHTN Tonalide	Ibuprofeno	Diclofenaco	Carbamazepina	Cafeína	Paracetamol
MÁXIMO	3.7	1.7	5.3	0.18	0.029	18.9	4.1
MÍNIMO	0.4	0.1	0.1	0.003	0.003	0.6	0.1
PROMEDIO	1.4	0.4	1.3	0.06	0.015	7.7	1.2

Se ha realizado el análisis estadístico de las concentraciones máximas y medias de suceso mediante ajustes a funciones de distribución de probabilidad lognormal y diagramas de distribución de datos "box-whisker". De este análisis se observa que se pueden agrupar las sustancias estudiadas por rangos de concentraciones resultantes de la siguiente forma:

- La cafeína, es la sustancia con mayores concentraciones obtenidas en tiempo de lluvia. Las concentraciones máximas obtenidas oscilan entre 30 – 35 µg/L, los valores medios entre 5 – 10 µg/L y las CMS máximas se sitúan en torno a 20 µg/L.
- La fragancia HHCB galaxolide, el ibuprofeno y el paracetamol sitúan sus concentraciones en un rango similar con unos máximos entre 5 – 10 µg/L, unos valores medios de 1 – 1.5 µg/L y unas CMS máximas de 3.5 – 5.5 µg/L.
- El tonalide presenta unas concentraciones máximas de suceso en torno a los 2.5 µg/L, unas CMS medias de 0.5 µg/L y CMS máximas de 1.7 µg/L.
- El diclofenaco y la carbamazepina ofrecen valores de concentraciones bajos con unos máximos entre 0.1 – 0.3 µg/L, CMS promedio de 0.015 – 0.06 µg/L y CMS máximas de 0.03 – 0.18, respectivamente.
- Entre las concentraciones de la cafeína y del grupo de sustancias formado por HHCB, ibuprofeno y paracetamol existe 1 orden logarítmico de magnitud de diferencia y, con respecto al grupo formado por el diclofenaco y la carbamazepina, 2 órdenes aproximadamente.

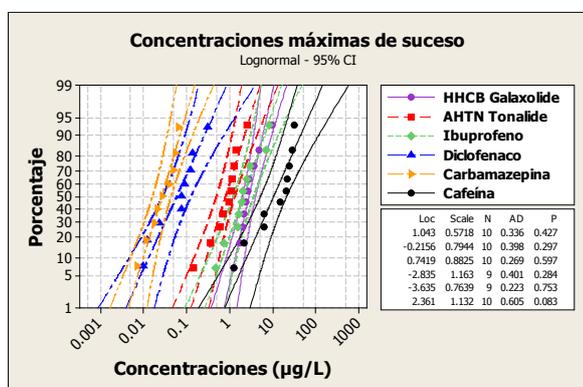


Figura 7-338. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMAX de PPCPs.

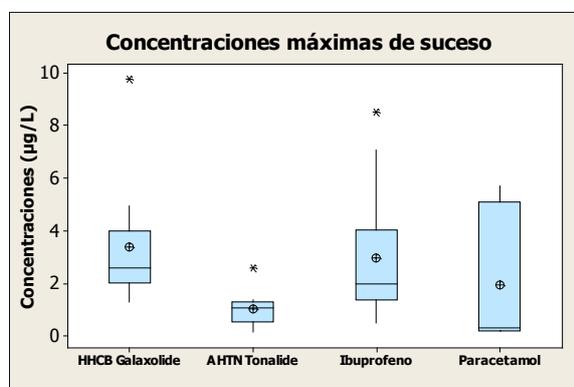


Figura 7-339. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de galaxolide, tonalide, ibuprofeno y paracetamol.

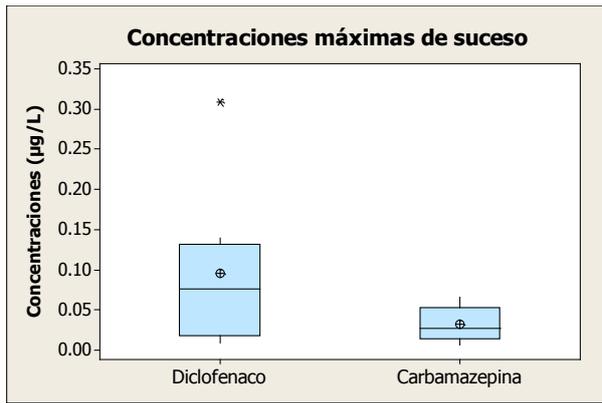


Figura 7-340. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de diclofenaco y carbamazepina.

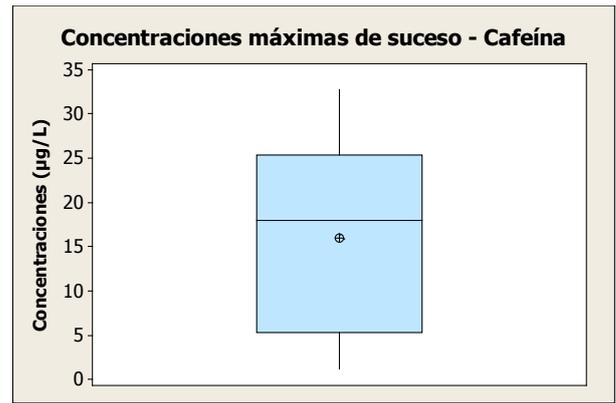


Figura 7-341. Diagramas de distribución de datos para las CMAX de cafeína.

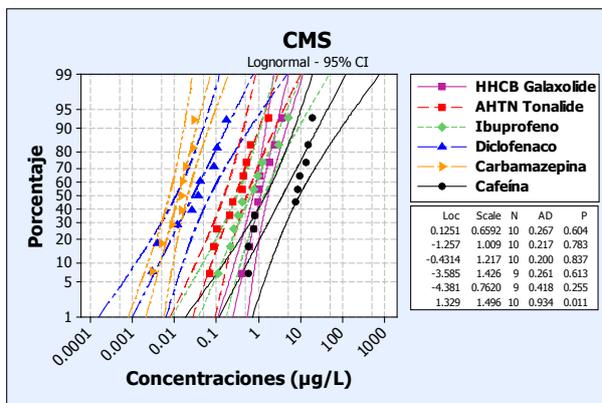


Figura 7-342. Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de PPCPs.

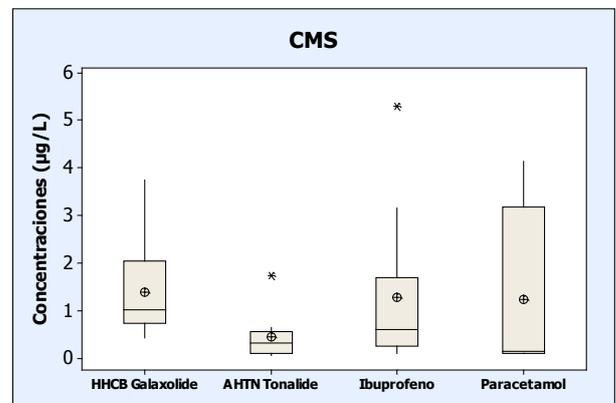


Figura 7-343. Diagramas de distribución de datos para las CMS de galaxolide, tonalide, ibuprofeno y paracetamol.

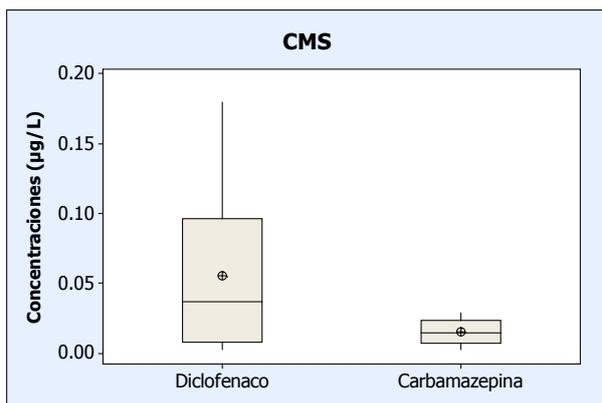


Figura 7-344. Diagramas de distribución de datos para las CMS de diclofenaco y carbamazepina.

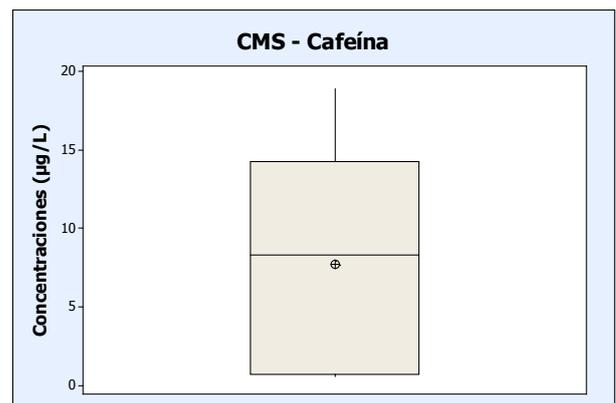


Figura 7-345. Diagramas de distribución de datos para las CMS de cafeína.

7.6.2.2. Comparación entre las concentraciones de tiempo seco y de lluvia en la cuenca

Los resultados obtenidos en las campañas de tiempo seco y de lluvia se han sintetizado en la siguiente tabla, en donde se muestran el valor máximo obtenido y la concentración media promediada en ambas campañas para cada sustancia estudiada.

Tabla 7-41. Valores máximo y medio promediado obtenidos para los PPCPs en tiempo seco y de lluvia.

	CONCENTRACIONES MÁXIMAS			CONCENTRACIONES MEDIAS		
	TIEMPO SECO	TIEMPO DE LLUVIA	TLL/TS	TIEMPO SECO (CMDTS)	TIEMPO DE LLUVIA (CMS)	TLL/TS
Galaxolide total (µg/L)	2.57	9.76	3.8	0.62	1.40	2.3
Tonalide total (µg/L)	1.26	2.58	2.0	0.31	0.45	1.5
Ibuprofeno total (µg/L)	2.11	8.51	4.0	0.25	1.28	5.1
Diclofenaco total (µg/L)	0.51	0.31	0.6	0.10	0.05	0.5
Carbamazepina total (µg/L)	0.07	0.07	1.0	0.01	0.02	1.7
Cafeína total (µg/L)	44.6	32.9	0.7	11.6	7.7	0.7
Paracetamol total (µg/L)	0.72	5.71	7.9	0.16	1.25	7.9

Al comparar los valores obtenidos en tiempo seco frente a los de tiempo de lluvia se observa con claridad que tanto la concentración máxima como la media promediada para las sustancias estudiadas es superior, o muy superior, en tiempo de lluvia, excepto para el diclofenaco y la cafeína. No obstante, es necesario destacar que no se aprecia un comportamiento sistemático de aumento en las concentraciones de los PPCPs en la parte inicial de los hidrogramas de lluvia, es decir, no se aprecian puntas de contaminación significativas durante el primer lavado de la cuenca y red.

A continuación se presentan gráficamente los resultados presentados en la tabla anterior.

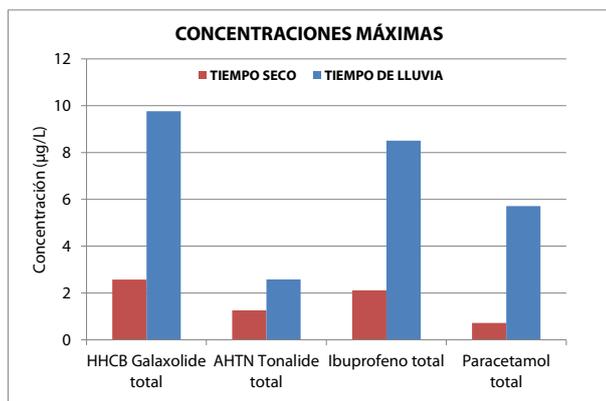


Figura 7-346. Valor máximo obtenido en tiempo seco y de lluvia para el HHCB, AHTN, ibuprofeno y paracetamol.

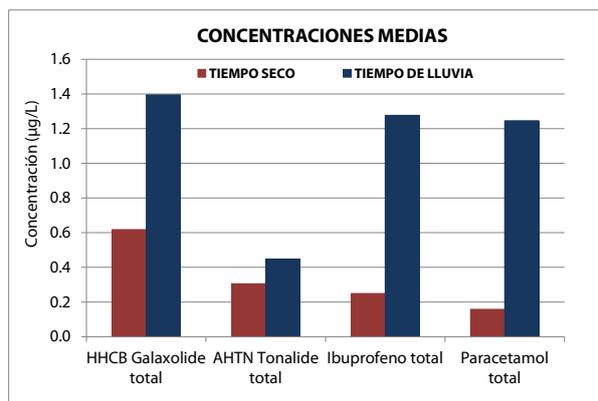


Figura 7-347. Concentración media promediada obtenida en tiempo seco y de lluvia para el HHCB, AHTN, ibuprofeno y paracetamol.

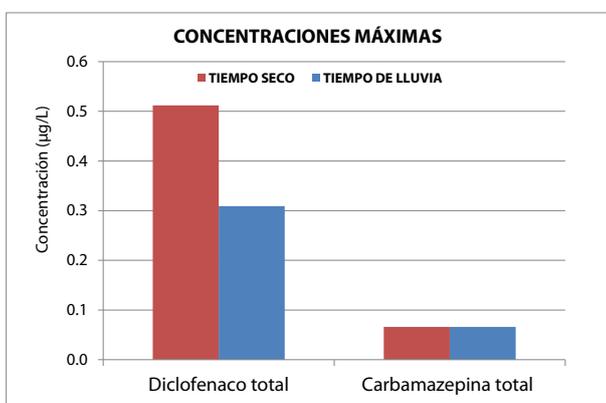


Figura 7-348. Valor máximo obtenido en tiempo seco y de lluvia para el diclofenaco y carbamazepina.

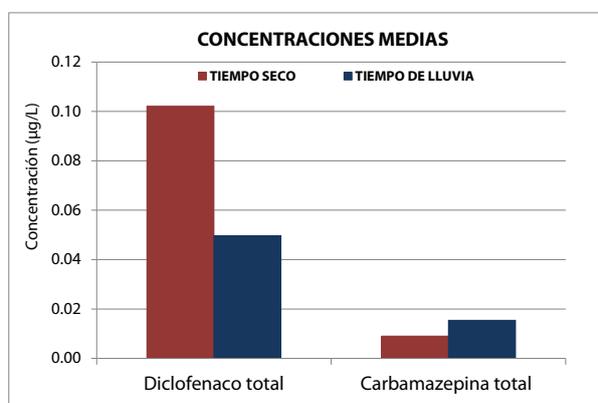


Figura 7-349. Concentración media promediada obtenida de diclofenaco y carbamazepina.

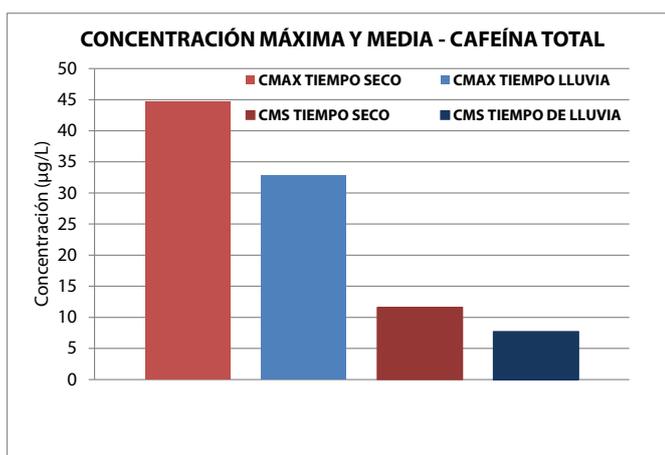


Figura 7-350. Valor máximo obtenido y concentración media promediada en tiempo seco y de lluvia para la cafeína.

A modo de resumen, en la siguiente tabla se clasifican las sustancias estudiadas según su comportamiento en la comparación entre ambas campañas (tiempo seco y de lluvia).

Tabla 7-42. Clasificación de los PPCPs estudiados según su comportamiento en tiempo seco y de lluvia.

PPCPs	Valor máximo TLL/TS	CMS/CMDTS
<i>ibuprofeno - paracetamol</i>	4 - 8	5 - 8
<i>carbamazepina - tonalide - galaxolide</i>	1 - 3.8	1.5 - 2.3
<i>diclofenaco - cafeína</i>	0.6 - 0.7	0.5 - 0.7

Se ha realizado un análisis estadístico comparando todas las concentraciones obtenidas en la caracterización de la cuenca para cada sustancia, clasificando éstas en dos grupos, tiempo seco y de lluvia. Las conclusiones más importantes que se pueden extraer son las siguientes:

- ✓ Los PPCPs que sufren una mayor movilización en tiempo de lluvia son, en orden ascendente, el HHCB galaxolide, el ibuprofeno y el paracetamol. En menor medida, se movilizan el AHTN tonalide y la carbamazepina.
- ✓ Las concentraciones del diclofenaco y la cafeína tienen la tendencia a disminuir durante los sucesos de lluvia; esto no quiere decir que no exista movilización durante los eventos pluviométricos dado que los flujos máxicos son superiores en tiempo de lluvia frente a los de tiempo seco para todas las sustancias estudiadas.

Los resultados obtenidos mediante análisis estadístico de la comparación de los valores de concentración registrados, en tiempo seco y en tiempo de lluvia, se presentan en las siguientes figuras.

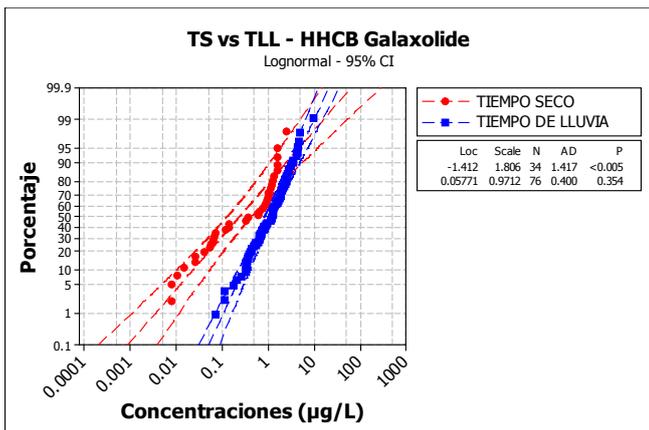


Figura 7-351. Distribución de probabilidad acumulada para las concentraciones de HHCB Galaxolide en tiempo seco y de lluvia.

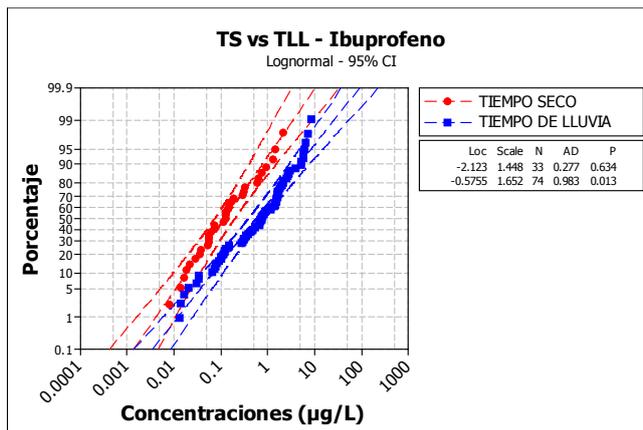


Figura 7-352. Distribución de probabilidad acumulada para las concentraciones de ibuprofeno en tiempo seco y de lluvia.

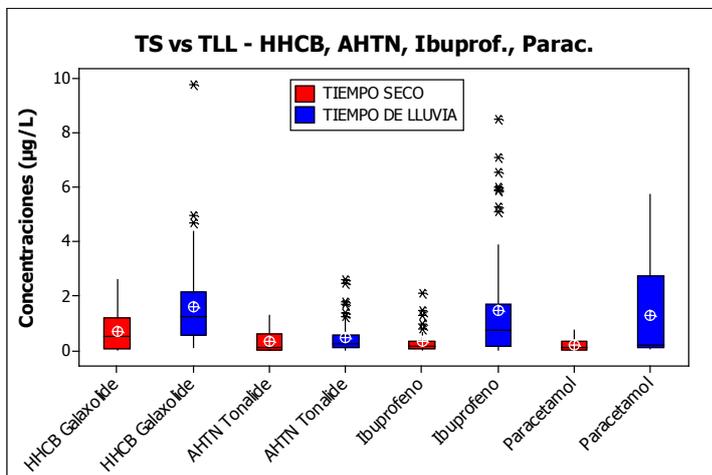


Figura 7-353. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de galaxolide, tonalde, ibuprofeno y paracetamol en tiempo seco y de lluvia.

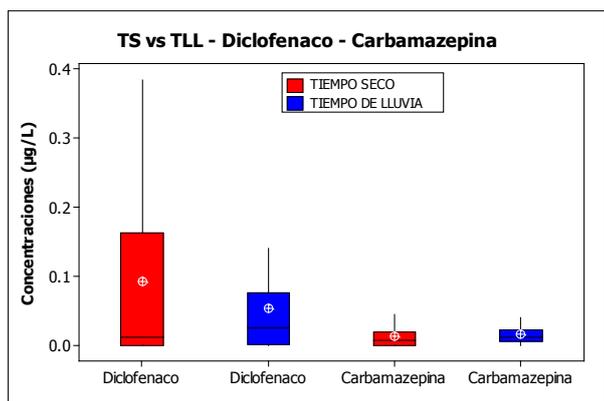


Figura 7-354. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de diclofenaco en tiempo seco y de lluvia.

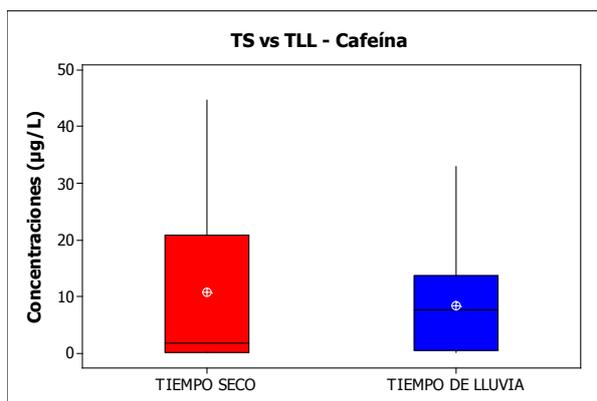


Figura 7-355. Diagramas de distribución de datos para las concentraciones de cafeína en tiempo seco y de lluvia.

A modo de resumen se presenta la siguiente tabla con los rangos de concentraciones obtenidos en cada campaña.

Tabla 7-43. Rangos de concentraciones obtenidas de los PPCPs estudiados en la cuenca "Ensanche".

RANGOS DE CONCENTRACIONES (µg/L)	HHCB Galaxolide	AHTN Tonalide	Ibuprofeno	Diclofenaco	Carbamazepina	Cafeína	Paracetamol
TIEMPO SECO	0.01 - 2.6	<0.006 - 1.3	0.01 - 2.1	<0.006 - 0.5	<0.006 - 0.07	<0.006 - 44.6	<0.006 - 0.7
TIEMPO DE LLUVIA	0.07 - 9.8	<0.006 - 2.6	0.01 - 8.5	<0.006 - 0.3	<0.006 - 0.07	0.01 - 32.9	0.04 - 5.7

7.6.2.3. Distribución de concentraciones por fases

Se ha analizado la distribución por fases, disuelta y particulada, de cada sustancia estudiada, tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia, con el objetivo de comparar ambos resultados para cada uno de estos contaminantes. En la tabla y figura siguientes se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 7-44. Distribución por fracciones de los PPCPs estudiados en tiempo seco y de lluvia.

Concentraciones medias	HHCB Galaxolide		AHTN Tonalide		Ibuprofeno		Diclofenaco		Carbamazepina		Cafeína		Paracetamol	
	particulado	disuelto	particulado	disuelto	particulado	disuelto	particulado	disuelto	particulado	disuelto	particulado	disuelto	particulado	disuelto
TIEMPO SECO	32%	68%	29%	71%	35%	65%	11%	89%	3%	97%	39%	61%	22%	78%
TIEMPO DE LLUVIA	19%	81%	17%	83%	19%	81%	5%	95%	3%	97%	16%	84%	14%	86%

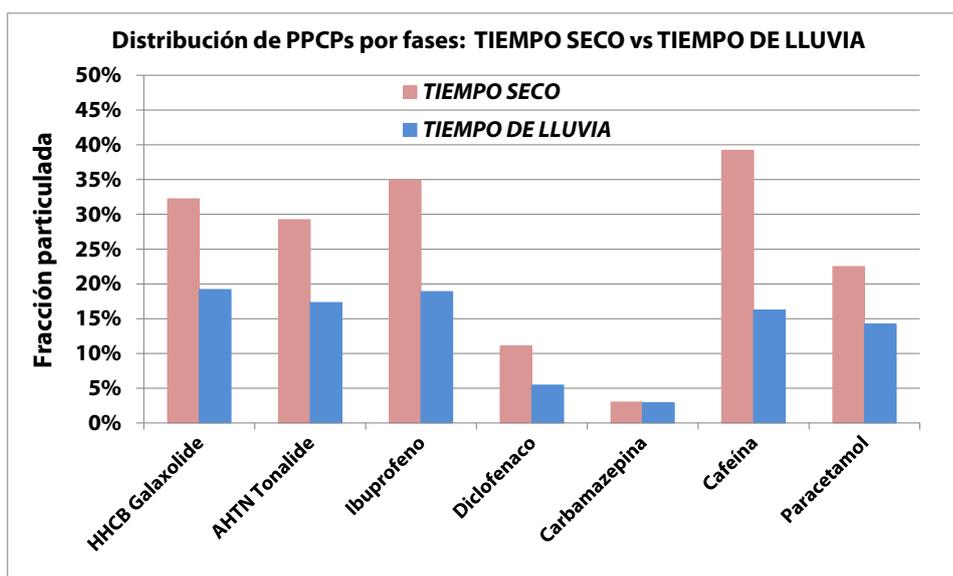


Figura 7-356. Fracción particulada de cada PPCP estudiado en tiempo seco y de lluvia.

Las conclusiones más destacables del análisis de la figura anterior son:

- ✓ Todas las sustancias se presentan mayoritariamente en fracción disuelta, tanto en tiempo seco como de lluvia. No obstante, es importante resaltar que el porcentaje de fracción particulada se reduce en tiempo de lluvia excepto para la carbamazepina cuyo valor es idéntico tanto en tiempo seco como de lluvia.
- ✓ El grupo formado por las fragancias (HHCB y AHTN), ibuprofeno, cafeína y paracetamol presentan un porcentaje de fracción particulada, en tiempo seco,

comprendido entre el 20% y el 40% aproximadamente, reduciéndose este valor prácticamente a la mitad en tiempo de lluvia (15% - 20%). Este fenómeno ocurre también con el diclofenaco, pero con unos valores de fracción particulada menores, pasando éstos del 10% (tiempo seco) al 5% en tiempo de lluvia.

- ✓ Las sustancias que presenta unos porcentajes de fracción particulada claramente menores al resto tanto en tiempo seco como de lluvia, diclofenaco y carbamazepina, sufren una menor movilización durante los sucesos con respecto al resto de los parámetros excepto la cafeína.

7.6.2.4. Análisis de correlaciones

Se han estudiado las correlaciones existentes en tiempo de lluvia entre los resultados de las concentraciones obtenidas de los parámetros básicos y los microcontaminantes, así como la interrelación entre estos últimos. El objetivo es poder identificar conductas análogas entre los PPCPs y otros parámetros más comunes con una trayectoria más dilatada en el estudio de su comportamiento de movilización durante los eventos pluviométricos en las redes unitarias y, por tanto, más conocido. De esta manera se intenta comprender con mayor claridad el comportamiento de los contaminantes emergentes en tiempo de lluvia en la red de saneamiento y drenaje.

En las dos tablas siguientes se muestran las matrices de correlación de los parámetros básicos y los PPCPs estudiados, y la de éstos entre sí, en tiempo de lluvia, que se obtuvieron con el programa MINITAB. Se han marcado en rojo los valores muy correlacionados, en verde los valores con correlación significativa, en azul los levemente correlacionados y en negro lo que no tienen correlación.

Tabla 7-45. Matriz de correlación entre los PPCPs y los parámetros básicos estudiados en la cuenca "Ensanche".

	Galax_T	Tonal_T	Ibupr_T	Diclof_T	Carbam_T	Cafeina_T	Parac_T
DQO	0.60	0.28	-0.04	0.43	0.05	0.05	-0.24
DQO_sol	0.66	0.26	0.04	0.31	-0.11	0.15	-0.10
DBO ₅	0.66	0.29	-0.03	0.44	0.07	0.06	-0.21
COT	0.56	0.37	-0.19	0.48	0.15	-0.14	-0.33
COD	0.28	0.32	-0.07	0.40	-0.01	-0.16	-0.14
N_total	0.56	0.45	-0.02	0.55	0.08	0.00	-0.14
N_amoniacal	0.54	0.57	0.13	0.52	-0.05	0.19	0.06
P_total	0.65	0.35	-0.01	0.48	0.07	0.05	-0.19
Fosfatos	0.50	0.46	-0.03	0.54	0.09	-0.06	-0.17
SS	0.69	0.27	-0.07	0.39	0.07	0.06	-0.23
SSV	0.69	0.25	-0.05	0.37	0.05	0.08	-0.21
SSF	0.69	0.35	-0.15	0.47	0.14	-0.03	-0.30
SD	0.49	0.43	-0.05	0.56	0.09	-0.08	-0.19
SDV	0.42	0.44	-0.27	0.64	0.28	-0.24	-0.33
SDF	0.31	0.14	0.47	0.00	-0.40	0.33	0.26
ST	0.68	0.30	-0.08	0.44	0.08	0.06	-0.24
STV	0.67	0.29	-0.08	0.44	0.09	0.06	-0.23
STF	0.68	0.35	-0.09	0.46	0.05	0.08	-0.26
Turbidez	0.79	0.23	-0.10	0.33	0.07	0.10	-0.25
Cond. 20	0.58	0.44	0.23	0.42	-0.15	0.39	0.13
pH	-0.11	-0.10	0.54	-0.27	-0.49	0.43	0.74
Alcalinidad	0.61	0.51	0.15	0.50	-0.06	0.26	0.06
Dureza	0.67	0.18	0.04	0.37	0.05	0.20	-0.16
CF	0.55	0.57	-0.38	0.62	0.29	-0.13	-0.46

Tabla 7-46. Matriz de correlación entre los contaminantes emergentes estudiados en la cuenca "Ensanche".

	Galax_T	Tonal_T	Ibupr_T	Diclof_T	Carbam_T	Cafeina_T	Parac_T
Galax_T	1.00	0.57	-0.10	0.53	0.18	0.01	-0.19
Tonal_T	0.57	1.00	-0.17	0.74	0.39	-0.12	-0.17
Ibupr_T	-0.10	-0.17	1.00	-0.25	-0.45	0.43	0.75
Diclof_T	0.53	0.74	-0.25	1.00	0.48	-0.17	-0.27
Carbam_T	0.18	0.39	-0.45	0.48	1.00	-0.44	-0.46
Cafeina_T	0.01	-0.12	0.43	-0.17	-0.44	1.00	0.56
Parac_T	-0.19	-0.17	0.75	-0.27	-0.46	0.56	1.00

Se han analizado a la par los resultados presentados en las dos tablas anteriores y se han observado las siguientes tendencias entre contaminantes:

- ✓ Las fragancias, galaxolide y tonalide, y el diclofenaco correlacionan levemente entre sí, y, a la vez, con el N amoniacal, la alcalinidad, los coliformes fecales y los fosfatos.
- ✓ El paracetamol y el ibuprofeno correlacionan moderadamente, y, ambos, con el pH.
- ✓ La galaxolide correlaciona levemente con todos los parámetros básicos excepto con el COD, SD y pH.
- ✓ El diclofenaco correlaciona levemente con los sólidos disueltos.
- ✓ La carbamazepina y la cafeína no correlacionan con ningún parámetro básico.

Las tendencias observadas entre los parámetros básicos y los microcontaminantes no son concluyentes y, por lo tanto, no aclaran el comportamiento de éstos en el sistema de saneamiento y drenaje en tiempo de lluvia.

7.6.2.5. Comparación de los resultados con la bibliografía

La caracterización de compuestos orgánicos y PPCPs en aguas residuales urbanas brutas, así como en los efluentes de EDAR, se encuentra ampliamente documentada en gran cantidad de referencias. Sin embargo, los desbordamientos de sistemas unitarios y las aguas de escorrentía urbana pueden ser, en muchos casos, las fuentes principales de estas sustancias en los medios acuáticos receptores (Phillips y Chalmers, 2009).

Los estudios de caracterización de compuestos orgánicos y PPCPs en los flujos generados en los sistemas de saneamiento y drenaje en tiempo de lluvia son muy escasos y tan solo se han encontrado dos referencias en la bibliografía: Boyd et al. (2004) han muestreado dos canales de escorrentía urbana en la ciudad de Nueva Orleans (EE.UU.); dichos canales sufren vertidos por desbordamiento de los sistemas unitarios en tiempo de lluvia. Phillips y Chalmers (2009) caracterizaron flujos de reboses de agua residual hacia el lago Champlain provenientes de la planta de tratamiento de Burlington en Vermont (EE.UU.) en tiempo de lluvia; dichos flujos procedían del bypass previo al tratamiento biológico y habían sido procesados mediante tratamiento primario y desinfección.

No obstante, existen publicaciones en las que se analiza la variación de las concentraciones de PPCPs en medios acuáticos receptores en función de la climatología, comparándose los resultados obtenidos en tiempo seco con los de tiempo de lluvia (Benotti y Brownawell, 2007; Buerge et al., 2006; Mussolff et al., 2009).

La revisión de la bibliografía ha permitido la elaboración de una amplia tabla resumen en la que se comparan los rangos de concentraciones obtenidas, tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia, de los siete PPCPs estudiados en esta tesis con los presentados en numerosas publicaciones en las que se han analizado dichas sustancias en aguas residuales brutas procedentes de núcleos urbanos de diferentes partes del mundo y tamaños de población. También se han incorporado a esta tabla los resultados obtenidos en las citadas referencias de Boyd et al. (2004) y Phillips y Chalmers (2009).

Tabla 7-47. Comparación de las concentraciones de PPCPs obtenidas en "Ensanche" con la bibliografía.

Concentraciones (µg/L)		HHCB Galaxolide	AHTN Tonalide	Ibuprofeno	Diclofenaco	Carbamazepina	Cafeína	Paracetamol	
CUENCA "ENSANCHE" Santiago de Compostela	TIEMPO SECO	rango	0.01 - 2.6	<0.006 - 1.3	0.01 - 2.1	<0.006 - 0.5	<0.006 - 0.7	<0.006 - 44.6	<0.006 - 0.7
		valor medio	0.67	0.324	0.307	0.093	0.012	10.8	0.191
		rango CMDTS	0.08 - 0.83	0.001 - 0.43	0.08 - 0.31	0.004 - 0.14	0.001 - 0.01	0.02 - 16.2	0.16
	TIEMPO DE LLUVIA	rango	0.07 - 9.8	<0.006 - 2.6	0.01 - 8.5	<0.006 - 0.3	<0.006 - 0.7	0.01 - 32.9	0.04 - 5.7
		valor medio	1.59	0.447	1.44	0.054	0.016	8.4	1.29
		rango CMS	0.4 - 3.7	0.1 - 1.7	0.1 - 5.3	0.003 - 0.18	0.003 - 0.03	0.6 - 18.9	0.1 - 4.1
Carballa et al. (2005) ¹		2.1 - 3.4	0.9 - 1.7	2.6 - 5.7	n.d.	n.d.			
Kasprzyk-Hordern et al. (2009) ¹				1.68 / 2.29	0.069 / 0.26			211.4 / 178.1	
Fent et al. (2006) ¹				0.54 - 38.7	0.35 - 5	0.7 / 1.5		6.9	
Gibson et al. (2007) ¹				4.38 / 5.09	1.72 / 6.36				
Gros et al. (2009) ¹				13.2	0.73	0.157		10.9	
Lajeunesse et al. (2007) ¹				0.83 - 1.17	0.020 - 0.216	0.044 - 0.701			
Roberts et al. (2006) ¹				0.027 - 7.74	0.90 - 1.04			0.069 - 6.92	
Lindqvist et al. (2005) ¹				13.1	0.35				
Gómez et al. (2007) ¹				34 - 168	0.2 - 3.6	0.3 - 0.5	52 - 192	29 - 246	
Gros et al. (2006) ¹				n.d. - 0.9	0.05 - 0.54	n.d. - 0.95		0.13 - 26.1	
Yu et al. (2006) ¹				1.9	0.11			0.96	
Zorita et al. (2009) ¹				6.9	0.23				
Nakada et al. (2006) ¹				0.381 - 1.13		0.015 - 0.27			
Lin et al. (2009) ¹				0.71 - 17.9	0.003 - 0.437	0.082 - 0.357	5.2 - 17.5		
Conkle et al. (2008) ¹				9.92		0.057	25.6	39.3	
Vieno et al. (2007) ¹						0.16 - 0.82			
Rosal et al. (2010) ¹	rango	n.d. - 25.0	n.d. - 1.93	n.d. - 4.1	n.d. - 0.56	0.106 - 0.173	5.01 - 65.6		
	valor medio	10.0	0.95	2.7	0.23	0.13	22.9		
Buerge et al. (2006) ¹							7.0 - 73.0		
Sui et al. (2010) ¹					0.32	0.113	3.4 - 6.6		
Takao et al. (2008) ¹	rango			0.006 - 1.07		n.d. - 0.35			
	valor medio			0.147		0.062			
Lishman et al. (2006) ¹	valor máximo	5.2	2.0	16.5	1.01				
	valor medio	2.03	0.80	8.45	0.204				
Terzic et al. (2008) ¹	rango	0.03 - 2.67	0.052 - 0.86	n.d. - 11.9	0.050 - 4.20	0.12 - 1.55			
	valor medio	0.63	0.25	3.20	0.859	0.419			
Simonich et al. (2000) y Bester (2004) ¹		1.9 - 4.7	0.16 - 1.1						
Buerge et al. (2006) ¹							7 - 73		
Phillips y Chalmers (2009) ²		0.37 - 0.43	n.d. - 0.11				11 - 12		
Boyd et al. (2004) ³				n.d. - 0.674					

¹ Afluente a EDAR en tiempo seco

² Flujo aliviado en EDAR en tiempo de lluvia previo a biológico (tratamiento primario + desinfección)

³ Flujo de escorrentía urbana con vertidos de DSUs

n.d. - no detectado

Una vez analizada la tabla anterior puede afirmarse que, en general, los rangos de concentración de los PPCPs estudiados en la cuenca "Ensanche" son similares a los encontrados en la bibliografía. También es necesario destacar que existen algunas referencias con resultados con órdenes de magnitud de concentración superiores, sobre todo los presentados por Gómez et al. (2007) en los que se analizan PPCPs en el afluente de una EDAR en Almería (España) que recibe las aguas residuales de un hospital próximo.

Cabe destacar que los resultados presentados por Carballa et al. (2005) pertenecen a la caracterización del afluente de la EDAR de Santiago de Compostela, siendo el "Ensanche" una de las subcuencas de este sistema de saneamiento y drenaje. Los resultados de

concentraciones obtenidos en tiempo seco en esta subcuenca, como puede apreciarse en la tabla, son inferiores a los de Carballa et al. debido principalmente a la inexistencia de clínicas y hospitales.

Los resultados de concentraciones obtenidas para los PPCPs en tiempo de lluvia indican que no existe un efecto dilución para este tipo de sustancias, más bien al contrario, por lo menos en los que respecta a los valores de "Ensanche". En cualquier caso, no está claro el comportamiento de este tipo de sustancias en las redes unitarias en tiempo de lluvia y los valores de concentración obtenidos son, por lo menos, similares en orden de magnitud a los de las aguas residuales urbanas de tiempo seco. Esta problemática se pone de manifiesto en los estudios de caracterización de microcontaminantes en masas acuáticas receptoras encontrados en la bibliografía. Buerge et al. (2006) y Musolff et al. (2009) estudian las concentraciones de cafeína tanto en el efluente de la planta de tratamiento como en el medio receptor, en ambos estudios se afirma que la principal fuente de cafeína en las masas acuáticas proviene de los DSUs. De hecho se encuentran, en ocasiones, concentraciones mayores en el medio acuático que en el efluente de la EDAR que vierte al mismo. Se llega a la conclusión de que la cafeína es un buen trazador de vertidos provenientes de reboses de sistemas unitarios en el medio receptor y la principal fuente de esta sustancia en el mismo. Otro estudio similar fue el realizado por Fono y Sedlak (2005) en el que utilizan como trazador, en este caso, la sustancia farmacéutica propranolol para identificar vertidos antropogénicos en aguas superficiales procedentes de DSUs.

El estudio llevado a cabo por Benotti y Brownawell (2007) en el que se analizan bajo diferentes condiciones climatológicas, tiempo seco y de lluvia, las concentraciones de diversos microcontaminantes en las masas acuáticas de la bahía de Jamaica en Nueva York (EE.UU.) llega a establecer una correlación entre la variación de las concentraciones de éstos en las aguas de la bahía y su eliminación en las plantas de tratamiento convencionales. Esta correlación establece que aquellas sustancias que, a pesar de la existencia de DSUs, tienden a disminuir su concentración en el medio receptor en tiempo de lluvia presentan, de manera proporcional, bajas tasas de eliminación en EDAR; mientras que los microcontaminantes que, en tiempo de lluvia aumentan su concentración en el medio debido a vertidos procedentes de DSUs, experimentan un grado de eliminación en la planta de tratamiento elevado, es decir, existe una relación directa entre la variación de la concentración de los PPCPs en los medios acuáticos receptores en tiempo de lluvia y su eficiencia de eliminación en EDAR. Este fenómeno lo respaldan Phillips y Chalmers (2009) en su ya citado estudio en el lago Champlain en Vermont (EE.UU.) y también Weyrauch et al. (2010) con su exhaustivo estudio del río berlinés Spree, en el que además se afirma que las altas concentraciones de determinadas sustancias existentes en los vertidos transitorios procedentes de DSUs pueden llegar a ser relevantes para los organismos acuáticos.

La explicación de que la causa del aumento de concentración de algunos PPCPs en los medios receptores en tiempo de lluvia se debe tan solo al agua residual urbana de tiempo seco que se vierte mediante los DSUs, tal y como se asume en algunas referencias encontradas, parece incompleta puesto que, en ese caso, el efecto dilución existente tanto por las aguas de escorrentía como por el aumento de los flujos o masas acuáticas receptoras debido a la pluviometría sería, como mínimo, equivalente al rendimiento de eliminación de dicho microcontaminante en la EDAR. Por ello, todo indica que existe un grado de movilización en los sistemas de saneamiento y drenaje unitarios por parte de aquellas sustancias que aumentan su concentración en tiempo de lluvia en el medio receptor debido a la existencia de DSUs.

Tan solo se ha encontrado una referencia en la bibliografía para contrastar la casuística encontrada en la cuenca "Ensanche" en la que se constata, como ya se ha presentado, que las concentraciones en tiempo de lluvia de los PPCPs estudiados no obedecen al "efecto dilución" que se podría presuponer, más bien ocurre el caso contrario, dichas concentraciones, en general, son superiores con respecto a las encontradas en tiempo seco. Esto implica que los flujos máxicos, en tiempo de lluvia, para estas sustancias son todavía mayores puesto que los caudales generados en la cuenca, lógicamente, también lo son. Dicha referencia es el trabajo publicado por Musolff et al. (2009) en el que se caracterizan un grupo de PPCPs en una cuenca urbana de Leipzig (Alemania); los resultados de concentración de un par de microcontaminantes, entre los que se encuentra la carbamazepina, son superiores en los vertidos de DSU con respecto a los del agua residual de tiempo seco de dicha cuenca, el resto de los microcontaminantes estudiados disminuyen sus valores de concentración en tiempo de lluvia pero éstos, son siempre superiores a los valores teóricos si se tiene tan solo en cuenta el factor de dilución. Musolff et al. (2009) achacan estos resultados a varios posibles factores: la alta variabilidad temporal de las concentraciones de microcontaminantes en el agua residual, la escasa temporalidad de las tomas de muestra puntuales y también reconocen posibles efectos del primer lavado de la cuenca. Por ello, concluyen que los vertidos procedentes de DSUs representan descargas cortas en duración pero con elevadas cargas de PPCPs. Buerge et al. (2006) y Jonkers et al. (2009) también mostraron que los reboses de los sistemas unitarios pueden ser una importante fuente de cargas de microcontaminantes en aguas superficiales.

No obstante, la comprensión del comportamiento de los microcontaminantes en las redes unitarias no parece trivial dado que las particularidades de cada sustancia, en cuanto a sus propiedades y características físico-químicas, aumentan la complejidad de los fenómenos que ocurren cuando éstas fluyen a lo largo de los kilómetros de colectores que forman un sistema de saneamiento y drenaje.

En cualquier caso, parece obvio que los PPCPs idóneos como trazadores de vertidos de DSUs son aquellos que sufren un elevado grado de remoción en EDAR, tales como la cafeína y el ibuprofeno (Buerge et al, 2006 y Buser et al. 1999, citado por Fono y Sedlak, 2005).

En la bibliografía existen numerosas referencias que presentan resultados de eficiencias de eliminación en EDAR convencional de los siete PPCPs estudiados en la cuenca "Ensanche". Carballa et al. (2005) estudiaron la eficiencia de eliminación de algunos PPCPs en la EDAR de Santiago de Compostela, entre ellos las fragancias galaxolide y tonalide y el ibuprofeno. Los resultados obtenidos albergaron unos porcentajes de remoción altos, especialmente para las primeras, con unos valores que oscilaron entre el 70% - 90%. Este comportamiento en EDAR lo atribuyeron principalmente a la capacidad de adsorción de estas fragancias a partículas sólidas.

El paracetamol se elimina en EDAR prácticamente en su totalidad, con rangos de eliminación entre 92% - 100% en dos plantas de tratamiento de aguas residuales en Gales (Kasprzyk-Horden et al., 2009), estos resultados corroboran los presentados por Jones et al. (2007). Un comportamiento similar experimenta el ibuprofeno con eficiencias de remoción en EDAR de 96% (Bendz et al. 2005), 78% - 100% (Lindqvist et al. 2005) y 87% (Yu et al. 2006), estas valores de remoción concuerdan con los resultados de Nakada et al. (2006). Por el contrario, los resultados encontrados en la bibliografía para el diclofenaco indican su

nula eliminación en las plantas de tratamiento convencionales (Lishman et al., 2006; Spongberg y Witter, 2008 y Kasprzyk-Horden et al., 2009), tan solo Yu et al. (2006) apreciaron una ligera remoción con unos rendimientos de eliminación del 18%. Estos comportamientos en EDAR del paracetamol, ibuprofeno y diclofenaco concuerdan también con los estudios de Gómez et al. (2007) y Terzic et al. (2008).

El antiepiléptico carbamazepina muestra un comportamiento idéntico al diclofenaco y su remoción en EDAR convencional es nula según las publicaciones de Lindqvist et al. (2005) y Kasprzyk-Horden et al. (2009). No obstante, Benotti y Brownawell (2007) obtuvieron unos rendimientos para esta sustancia del 37%.

La cafeína es uno de los microcontaminantes más estudiados y todas las referencias encontradas indican que su remoción en las plantas de tratamiento de aguas residuales es muy elevada, oscilan entre 85% - 100% (Bendz et al., 2005; Buerge et al., 2006; Gómez et al., 2007; Conkle et al., 2008 y Lin et al., 2009).

Si se analizan, para cada microcontaminante estudiado en la cuenca "Ensanche", los valores de rendimientos de eliminación en EDAR encontrados en la bibliografía con la variación de concentraciones de los mismos entre tiempo seco y de lluvia en la cuenca "Ensanche", se observa una altísima concordancia entre ambos factores. Este fenómeno puede dar explicación a las conclusiones a las que llegan Benotti y Brownawell (2007) y Phillips y Chalmers (2009) en sus estudios de calidad de la bahía de Jamaica y del lago Champlain respectivamente. En la siguiente tabla se puede observar la buena correlación existente entre el grado de movilización en tiempo de lluvia y el rendimiento de eliminación en EDAR para cada microcontaminante estudiado, excepto la cafeína.

Tabla 7-48. Valores de concentración en tiempo seco y de lluvia en la cuenca "Ensanche" y rendimientos de eliminación en EDAR obtenidos en la bibliografía para cada uno de los PPCPs estudiados.

PPCPs (µg/L)		Concentraciones en tiempo seco	Concentraciones en tiempo de lluvia	Rendimientos de eliminación en EDAR - bibliografía
HHCB Galaxolide	Rango	0.01 - 2.6	0.07 - 9.8	70% - 90%
	Valor medio	0.67	1.59	
AHTN Tonalide	Rango	<0.006 - 1.3	<0.006 - 2.6	
	Valor medio	0.324	0.447	
Ibuprofeno	Rango	0.01 - 2.1	0.01 - 8.5	78% - 100%
	Valor medio	0.307	1.44	
Diclofenaco	Rango	<0.006 - 0.5	<0.006 - 0.3	0% - 18%
	Valor medio	0.093	0.054	
Carbamazepina	Rango	<0.006 - 0.7	<0.006 - 0.7	0% - 37%
	Valor medio	0.012	0.016	
Cafeína	Rango	<0.006 - 44.6	0.01 - 32.9	85% - 100%
	Valor medio	10.8	8.4	
Paracetamol	Rango	<0.006 - 0.7	0.04 - 5.7	98% - 100%
	Valor medio	0.191	1.29	

Bibliografía: Bendz et al., 2005; Benotti y Brownawell, 2007; Buerge et al., 2006; Carballa et al., 2005; Conkle et al., 2008; Gómez et al. 2007; Kasprzyk-Horden et al., 2009; Lin et al., 2009; Lindqvist et al., 2005; Lishman et al., 2006; Spongberg y Witter, 2008; Terzic et al., 2008 y Yu et al., 2006.

No está claro el comportamiento en la red de este tipo de sustancias, ni que exista degradación de las mismas; tampoco pueden afirmarse rotundamente las causas de su movilización en tiempo de lluvia, es posible que, durante los períodos de tiempo seco, parte de estas sustancias se queden atrapadas en el agua intersticial ocluida en los sedimentos y biopelículas presentes en el sistema de colectores, o que algunas posean la capacidad de adsorción a los propios sólidos sedimentados. En futuras investigaciones parece muy interesante estudiar el comportamiento de estas sustancias en el interior de las redes de saneamiento y su interacción con los sedimentos y biopelículas. La profundización en el conocimiento de las reacciones físico-químicas y las interacciones sólido-líquido existentes en las redes unitarias es la principal tarea pendiente para los investigadores del saneamiento urbano (Ashley et al., 2005).