

# EXPERIENCIAS IBEROAMERICANAS EN LA GESTIÓN DE ESCORRENTÍAS CONTAMINADAS DE VIALES

**Editores:**  
**Joaquín Suárez López**  
**Carlos Alfonso Zafra Mejía**  
**Vicente Jiménez Fernández**



## Experiencias iberoamericanas en la gestión de escorrentías contaminadas de viales

SUÁREZ LÓPEZ, Joaquín  [0000-0001-7126-5231](https://orcid.org/0000-0001-7126-5231)

ZAFRA MEJÍA, Carlos Alfonso  [0000-0002-4061-4897](https://orcid.org/0000-0002-4061-4897)

JIMÉNEZ FERNÁNDEZ, Vicente  [0000-0002-2069-9950](https://orcid.org/0000-0002-2069-9950)

A Coruña, 2021

Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións

Number of pages: 274

Contents, pages: 1-274

DOI: <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497498104>

ISBN: 978-84-9749-810-4

Dep. legal: C 1128-2021

### EDICIÓN

Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións <<http://www.udc.gal/publicacions>>

© de la edición, Universidade da Coruña (University of A Coruna)

© de los textos, gráficos y figuras, los autores

### MAQUETACIÓN

Teresa Saiz Gómez



Esta obra se edita bajo una licencia Creative Commons

CC BY-NC-SA (Atribución-NoComercial-CompartirIgual) 4.0 Internacional

# **Experiencias iberoamericanas en la gestión de escorrentías contaminadas de viales**

Joaquín Suárez López  
Carlos Alfonso Zafra Mejía  
Vicente Jiménez Fernández

A Coruña  
2021

Servizo de Publicacións  
Universidade da Coruña



## C3.1

### Evaluación de los rendimientos de eliminación de contaminación de una infraestructura de tratamiento de la escorrentía de carreteras mediante medición en continuo de la turbidez

Joaquín Suárez López  
Nial Tynan Pascual  
Pablo Ures Rodríguez  
Marcos Díaz Gay  
Pau Llopis Izquierdo  
Manuel Regueiro Picallo  
Iker Hernando Peciña

#### RESUMEN

Con el objetivo de realizar un tratamiento de la contaminación asociada a los flujos de aguas de escorrentía pluvial procedente de un tramo de autopista y un área de servicio próximas a la ciudad de San Sebastián (Norte de España) se construyó un separador hidrodinámico de vórtice (SHV) y un sistema de filtración ascendente de membrana (SFAM). En este documento se propone el uso de la turbidez del agua como parámetro de vigilancia de la contaminación presente en la escorrentía, ya que, a partir de sus valores, es posible estimar los valores de las concentraciones medias de suceso (CMS) de la DQO y de los SST, tanto de la entrada como de la salida del sistema de tratamiento. Esta metodología mostró un rendimiento de la infraestructura de control y tratamiento instalada de un 73% y de un 54% en la eficiencia de eliminación de SST y DQO, respectivamente. A pesar de las dificultades de operación y monitoreo, la medición en continuo se consolida como una herramienta de evaluación útil para las técnicas de gestión y tratamiento de flujos contaminados en tiempo de lluvia.

**Palabras clave:** escorrentía contaminada, autopista, área de servicio, monitoreo en continuo, sólidos en suspensión, turbidez, separador de vórtice, filtro de membrana.

## 1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas las técnicas de drenaje urbano sostenible, técnicas SUDS, basadas en soluciones prefabricadas y con tecnologías bajo patente, se vienen utilizando más, principalmente en los Estados Unidos, como dispositivos de tratamiento de la contaminación presente en las escorrentías de autopistas, sobre todo por su capacidad para controlar sólidos en suspensión, productos derivados del petróleo y materiales flotantes en una sola etapa de tratamiento y, al mismo tiempo, gestionar elevados caudales sin utilizar energía (Faram et al., 2006).

Estudios recientes sobre la contaminación de las aguas de escorrentía de las autopistas en el Norte de España han demostrado la necesidad de contar con unas directrices relativas a la gestión de este tipo de flujos, así como la necesidad de reconocer y controlar este tipo de vertidos (Jiménez y otros, 2013). Estos estudios han medido las concentraciones de contaminantes intra-evento, los flujos máxicos, así como las masas y las concentraciones medias de suceso (CMS). En los últimos años se está estudiando el uso de mediciones de turbidez en línea a largo plazo para la estimación de las concentraciones de otros contaminantes en las aguas pluviales como una alternativa prometedora para vigilar con precisión la contaminación presente en las escorrentías y la que es enviada finalmente a las masas de agua naturales. Los sólidos en suspensión, los nutrientes o la DQO, no pueden medirse fácilmente in situ debido a limitaciones financieras y tecnológicas, mientras que la medición en continuo de la turbidez puede reducir al mínimo los costes y las dificultades asociadas a los programas de vigilancia de las aguas pluviales (Flecher & Deletic, 2007; Métadier & Bertrand-Krajewski, 2012).

En este documento se presentan los resultados de un estudio de ocho meses de duración en el que se utilizaron la toma de muestras vinculada a evento y el monitoreo en continuo para estudiar la contaminación de la escorrentía pluvial de una autopista y la eficacia de una técnica SUDS de tecnología patentada.

### 1.1. Resumen del estudio

La autopista AP-1/AP-8 forma un anillo exterior entorno a la ciudad de Donostia (San Sebastián) que sirve de ronda exterior al intenso tráfico que se genera en esta urbe, así como como circunvalación para el tráfico que entra en España desde Francia, ya que hay un paso fronterizo próximo.

La sociedad provincial BIDEGI, responsable de la administración y mantenimiento de las autopistas de Gipuzkoa (España), está firmemente comprometida con la modernización y la sostenibilidad de la infraestructura viaria de la provincia. Con el fin de satisfacer las nuevas demandas sociales y ambientales, BIDEGI diseñó e instaló un avanzado sistema de gestión y tratamiento de las aguas de escorrentía procedentes del tramo de autopista situado entre el punto kilométrico 21 + 745 y el 22 + 125 de la citada autopista. El objetivo de esta infraestructura era minimizar la potencial contaminación que estas aguas podrían arrastrar hacia los acuíferos y sumideros de un macizo rocoso calizo que atraviesa el citado tramo de autopista (BIDEGI, 2012).

El sistema de control y tratamiento recibe la escorrentía de los conductos de drenaje longitudinal y transversal de un tramo del vial y de las superficies impermeables vinculadas a dos gasolineras dotadas de amplias zonas de aparcamiento y servicios. La técnica de control y tratamiento recibe las aguas de una cuenca de aportación con una superficie de 12 hectáreas, con un perímetro de 2,64 km y una longitud total de 3,32 km. Los principales usos del suelo en ella son la agricultura y la ganadería (56%), las zonas urbanizadas de baja densidad (2,2%), y las carreteras, zonas de servicio y otras superficies asfaltadas afectadas por el desarrollo de la infraestructura (39,4%). La intensidad de tráfico de la autopista alcanza un valor medio de 27.000 vehículos diarios. La precipitación media anual en la zona es de 1.490 L/m<sup>2</sup> (Euskalmet).

El sistema de tratamiento de la contaminación de las aguas pluviales está distribuido en cuatro cámaras subterráneas de hormigón con componentes internos diseñados para retener las aguas pluviales y promover la eliminación de sedimentos, sólidos en suspensión, y productos derivados del petróleo. También se eliminan los metales, los nutrientes y los contaminantes asociados a los sólidos en suspensión. Los principales componentes del tren de tratamiento son un separador hidrodinámico de vórtice (SHV) y un sistema de filtración ascendente por membrana (SFAM). Antes de llegar a estas etapas de tratamiento el afluente atraviesa unas rejas gruesas y una cámara de desarenado, para retener las partículas de mayor tamaño. El sistema cuenta con un bypass completo externo, y con otro bypass del sistema de filtración.

El SHV está diseñado para dar al flujo afluente una larga trayectoria desde la entrada hasta la salida, impartiendo un movimiento circular al fluido dentro de una cámara cilíndrica. El diseño especial de la SHV elimina los sólidos del agua por una combinación de la gravedad y otras fuerzas inerciales consecuencia del movimiento de tipo remolino generado en la cámara. Los sólidos capturados se dirigen y almacenan en una zona inferior relativamente aislada, con velocidades de flujo ascendentes mínimas, lo que reduce la probabilidad de resuspensión durante el tratamiento de caudales elevados.

El sistema de filtración ascendente está formado por múltiples cartuchos filtrantes de membrana, muy ligeros, con una superficie de filtración muy elevada, que proporciona una baja velocidad de filtración (caudal por unidad de superficie) con unas pérdidas de carga relativamente bajas. Una diferencia de cota muy pequeña entre el nivel aguas arriba y el nivel aguas abajo durante un evento proporciona la "fuerza motriz" necesaria para el funcionamiento del sistema. El tratamiento de filtración por membrana elimina las partículas en suspensión finas y los contaminantes a ellas asociados (nutrientes, metales pesados, hidrocarburos y bacterias).

El criterio de diseño de la técnica SUDS se basó en el establecimiento del denominado "caudal de calidad del agua". El caudal de calidad del agua ("water quality flow", WQF) es el caudal máximo asociado a la lluvia de diseño del volumen de calidad del agua ("water quality volume", WQV). Aunque la mayoría de las técnicas de control y tratamiento de aguas pluviales se suelen dimensionar sobre la base del WQV, algunas técnicas, como muchos dispositivos de tratamiento patentados, se dimensionan de forma más correcta sobre la base del caudal máximo, ya que están diseñados para tratar caudales más altos, por lo que no se requiere un volumen de almacenamiento elevado.

Estas técnicas, normalmente fuera de línea, se dotan de dispositivos de by-pass para desviar caudales mayores que el WQF (CDEP, 2004). El SHV y el SFAM fueron dimensionados para un WQF basado en el tratamiento del 90 y 60 por ciento de volumen acumulado de la escorrentía anual de la cuenca de aportación, respectivamente.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

En diciembre de 2013 se instalaron los equipos de monitorización en la infraestructura de control y tratamiento para medir tanto variables hidrológicas (precipitación, caudales, niveles, etc.) como la contaminación presente en los flujos.

Se analizó el comportamiento hidrológico de la cuenca utilizando tres medidores de caudal en canal abierto (Sigma 950); dos de ellos dotados de sondas de área/velocidad sumergidas en los conductos de entrada y salida del SHV, y un tercero, compuesto por un medidor de velocidad doppler sumergido y un sensor de nivel ultrasónico. La carga hidráulica sobre el sistema de filtración se medía mediante un sensor ultrasónico. Los datos de precipitaciones se recogieron mediante un pluviómetro instalado en el mismo emplazamiento de la infraestructura.

Se instalaron dos muestreadores automáticos portátiles (Sigma 900), uno a la entrada y otro a la salida del sistema, dotados de 24 botellas de 1L. La contaminación se monitorizó, además, utilizando dos sondas de turbidez (Hach Solitax; rango: 0,001 a 4000 NTU), una situada a la entrada y la otra en la salida del sistema de tratamiento. Las sondas y el almacenamiento de datos se utilizaron como sistemas de control junto con un equipo GPRS para controlar a distancia algunos de los parámetros medidos, lo que permitía la optimización de la respuesta y el funcionamiento del equipo, así como las labores de mantenimiento.

Una vez estudiados, en una primera fase, los regímenes de caudales que fluían a través de las unidades de tratamiento, se estableció un umbral mínimo de flujo de agua de 10 L/s para arrancar ambos muestreadores simultáneamente. Inicialmente, se adoptó un intervalo de 5 minutos entre cada muestra (Figura 1). Al final de cada suceso de precipitación representativo, se recogieron las muestras simples y se prepararon muestras compuestas de 3 litros ponderadas a caudal, estudiando las características hidráulicas del evento. Las muestras finalmente elaboradas se analizaron en laboratorio para determinar los metales pesados, los sólidos, los nutrientes, la DQO y los hidrocarburos totales. Durante el período de estudio se capturaron y monitorearon 6 sucesos de lluvia representativos, con un promedio de 7 muestras de entrada/salida por evento.

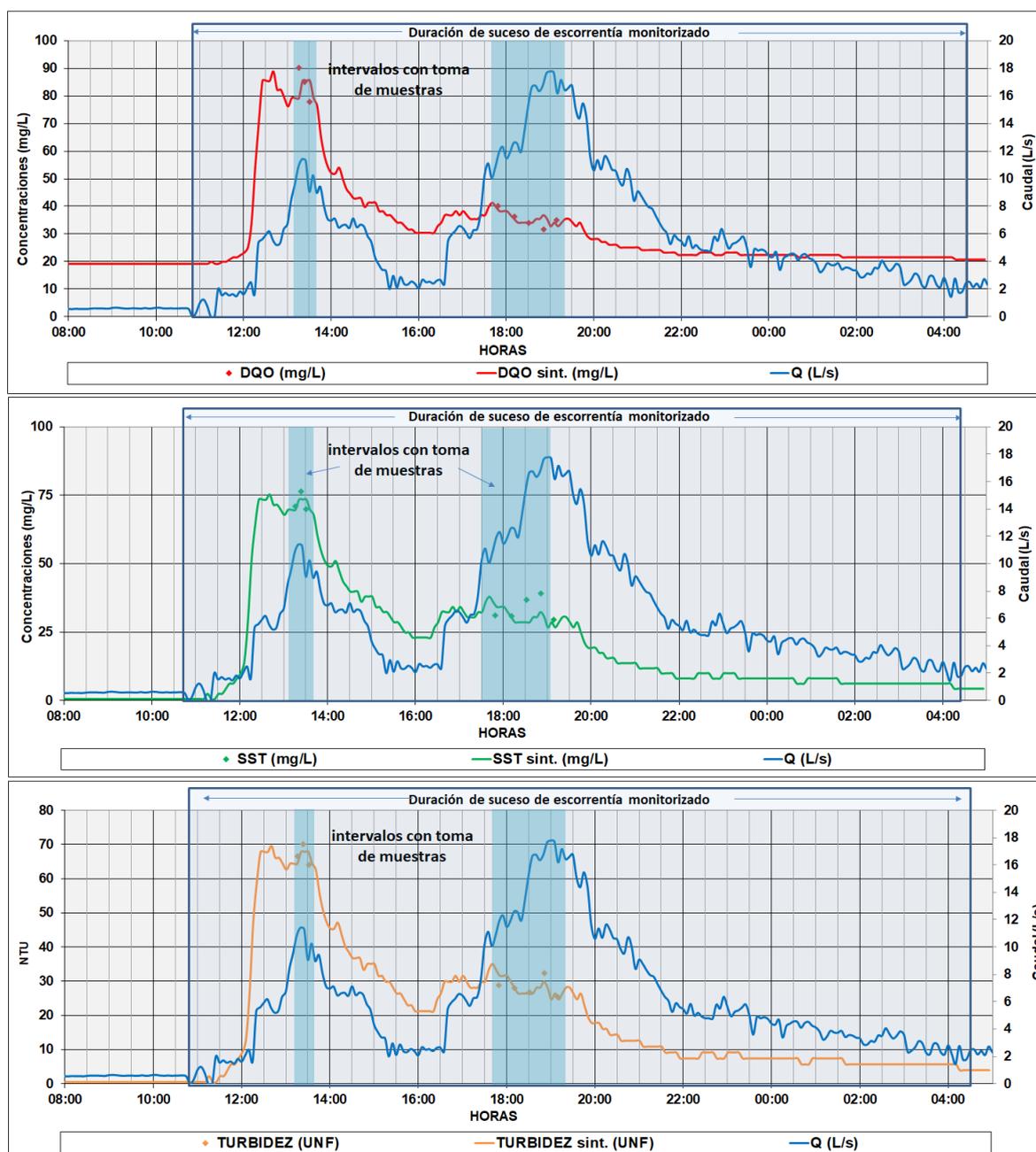


Figura 1.- Ejemplo de suceso de escorrentía monitorizado completo, con los tramos muestreados sombreados (Suceso 3).

## 2.1. Corrección de datos y cálculo de DQO y SST sintéticos

Uno de los objetivos del estudio era relacionar las mediciones en continuo de turbidez y las concentraciones de DQO y SST de las muestras tomadas durante sucesos de escorrentía. El desarrollo de los ajustes de regresión permitió la estimación de las cargas de SST y DQO a largo plazo y dio lugar a mejores cálculos de la eficiencia de eliminación de la técnica SUDS, al aumentar el número de eventos monitorizados y reducir la incertidumbre en la estimación de las CMS.

Cuando se utilizan equipos de monitorización en línea las correlaciones de turbidez con los SST se deben determinar específicamente para cada emplazamiento (NCHRP, 2012; Anta, 2009). Los ajustes y las operaciones de mantenimiento tenían que realizarse periódicamente a fin de evitar películas incrustadas en las lentes ópticas, o variaciones en las condiciones del emplazamiento que pudieran provocar desviaciones sistemáticas de los datos.

A partir de las mediciones en continuo y los ajustes de regresión fue posible establecer la movilización de cargas de SST y DQO a largo plazo. La metodología seguida para desarrollar modelos de regresión y establecer relaciones estadísticas entre las muestras analizadas en laboratorio y las mediciones de los sensores in situ, consistió en un proceso de cuatro pasos:

I) Mediciones continuas fiables de turbidez: Se instalaron sondas de turbidez de medida en continuo que trabajaron durante un período de 6 meses en la entrada y salida de la técnica SUDS. Los valores de turbidez se registraron con una frecuencia de 5 minutos (en unidades NTU). El mantenimiento de las secciones de control, y el registro y tratamiento de los datos, siguieron los procedimientos estándar descritos en Wagner y otros (2000).

II) Recogida de muestras y análisis de la contaminación del agua: Se tomaron muestras de agua utilizando muestreadores automáticos en 6 sucesos de lluvia y se realizaron determinaciones analíticas para diversos contaminantes. Los valores de turbidez y SST se determinaron siguiendo los métodos estándar 2130B y 2540D (APHA, 2012), respectivamente; las determinaciones de DQO siguieron la norma ISO 6060:1989. Las concentraciones obtenidas se utilizaron para calcular la carga de contaminación "real" y el CMS en cada suceso de lluvia.

III) Ajustes de las mediciones de turbidez en continuo: Los estudios de Métadier y Bertrand-Krajewski (2011), establecen que hay dos fuentes principales de incertidumbres al utilizar sondas de medición en continuo en las campañas de campo: la incertidumbre de los sensores y la incertidumbre de las mediciones de campo derivadas de las condiciones de localización de los sensores. Para mitigar ambas fuentes de error se realizó una corrección de las mediciones de turbidez mediante una medición doble de campo y se realizó una corrección a partir de una regresión lineal. Los ajustes de corrección se realizaron para cada suceso monitorizado y para todas las muestras recogidas y analizadas a lo largo de la campaña, tanto para los flujos de entrada como de salida de la infraestructura. Se calcularon las correlaciones entre las mediciones en continuo de turbidez y las concentraciones de turbidez obtenidas en el laboratorio. Las ecuaciones de regresión se calcularon sin valores atípicos (referencia de umbral: 95% de confianza).

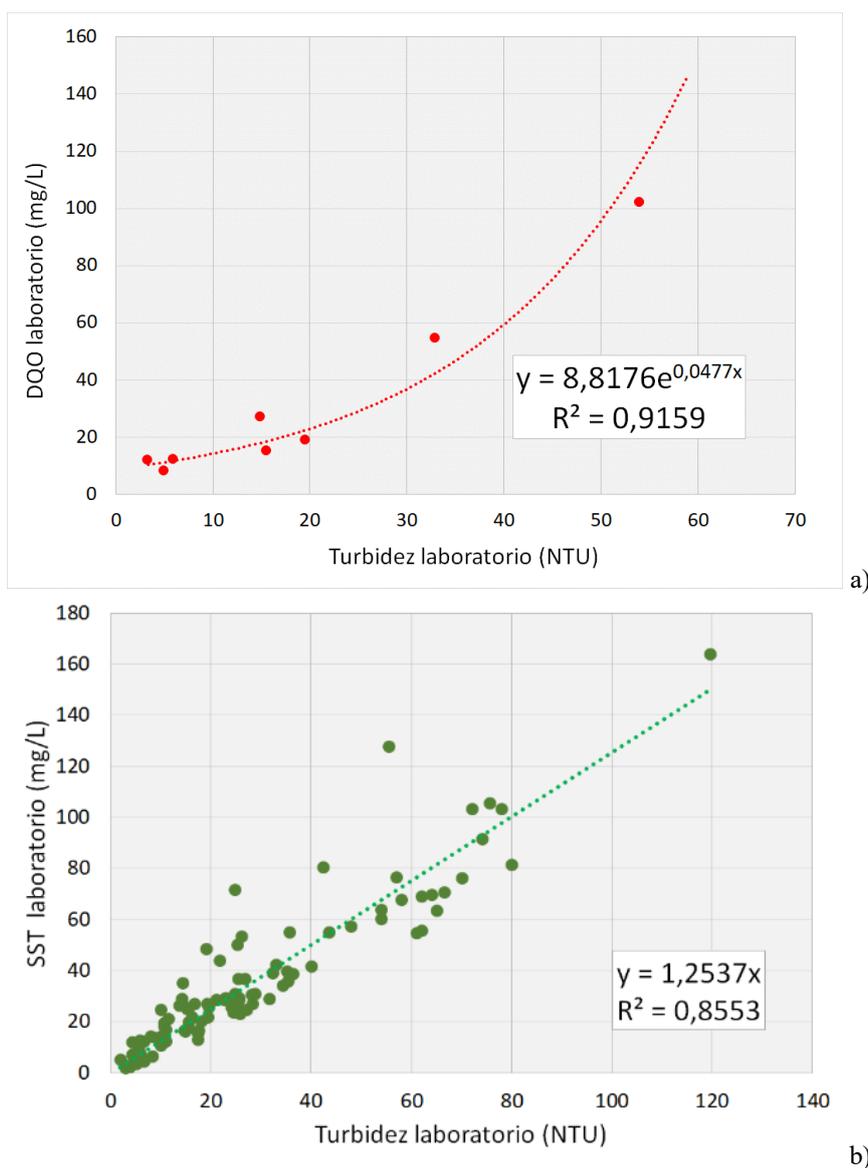


Figura 2.- Ejemplos de ajustes utilizados para la DQO en el flujo de entrada en el evento 2 (a) y regresión lineal general para la SST en toda la campaña de muestreo (b).

IV) Ajustes de regresión entre la turbidez corregida, los SST y la DQO: Se calcularon las correlaciones entre las mediciones en continuo de turbidez y las concentraciones de SST y DQO en el laboratorio para todas las muestras y para cada evento, a fin de obtener cargas a lo largo de todos los eventos monitorizados durante el periodo de 6 meses, y establecer la variabilidad temporal de estos contaminantes de referencia. Se determinó que las funciones de ajuste lineal y exponencial eran representativas para las SST y la DQO, respectivamente, con base a cada evento, mientras que se realizaron regresiones lineales para las correlaciones de valores de toda la campaña.

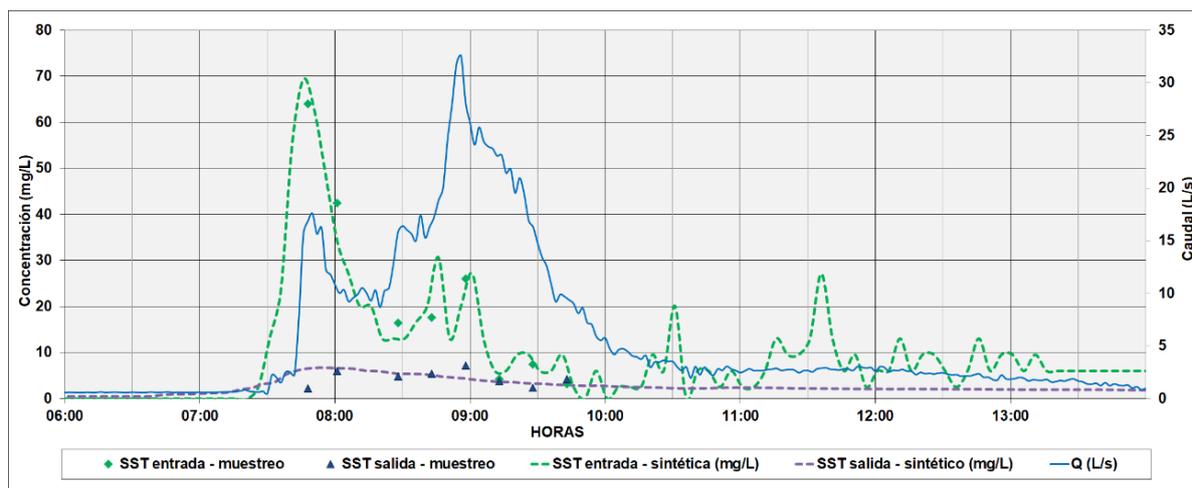


Figura 3.- Polutogramas de SST y DQO de entrada y salida, con valores obtenidos mediante muestreo y valores sintéticos obtenidos mediante ajuste de pares de valores SST y turbidez del propio suceso.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La toma de muestras discretas puede plantear algunos problemas, ya que suele ser difícil y costoso capturar y analizar muestras de aguas pluviales durante todo el período de escorrentía de un suceso de lluvia. Además, no siempre es posible recoger durante el muestreo el pico del polutogramas.

Cuando se realiza una monitorización en continuo con una sonda se necesita una primera evaluación de las mediciones de la misma con el fin de ajustar el "verdadero" valor, y poder establecer ajustes y correcciones posteriores en sus lecturas. En la Tablas 1 se muestran los resultados "sintéticos" de la SST y la DQO utilizando la turbidez medida en continuo como medida de referencia y los valores "verdaderos" determinados para los mismos parámetros en laboratorio para varios sucesos muestreados. Se calcularon los SST y los valores de concentración máxima para el período de muestreo, excepto en los sucesos 5 y 6, en los que el sensor de turbidez de entrada no funcionó correctamente.

Como era de esperar, el error relativo (%) es mayor en las muestras con valores de concentración más bajos. También, de acuerdo con Hannouche et al. (2011), puede indicarse que la variabilidad entre eventos resultó tan alta como la de las estimaciones dentro de los eventos, que también son más precisas.

Tabla 1. - Resultados obtenidos de CMS, CMAX y carga en todos los sucesos muestreados, junto con los errores relacionados obtenidos al comparar con los ajustes en cada evento o con los datos de toda la campaña.

Características de los sucesos		Suceso 1		Suceso 2		Suceso 3		Suceso 4		Suceso 5		Suceso 6	
Fecha		27-28/12/2014		11/01/2015		14-15/02/2015		13/03/2015		17/04/2015		10/06/2015	
Días de tiempo seco precedente (días)		08		13,8		8,8		8,6		6,6		4,2	
Duración (h:mm)		12:05		6:56		17:45		4:40		3:05		4:40	
Caudal medio (L/s)		35,0		6,6		6,2		13,5		8,5		18,6	
Caudal máximo (L/s)		158,7		32,5		17,8		53,2		23,7		83,2	
Volumen tratado		Entrada	SFAM Salida	Entrada	SFAM Salida	Entrada	SFAM Salida	Entrada	SFAM Salida	Entrada	SFAM Salida	Entrada	SFAM Salida
Volumen total (m <sup>3</sup> )		1.532	458	166	119	397	308	231	231	97	97	319	218
Volumen durante el intervalo de muestreo (% respecto al total del suceso en m <sup>3</sup> )		194 (13%)	86 (19%)	119 (72%)	71 (60%)	88 (22%)	50 (16%)	179 (78%)	179 (78%)	77 (79%)	77 (79%)	265 (83%)	168 (77%)
Valores de laboratorio de las muestras													
Parámetros de contaminación													
CMS (mg/L)		73	12	20	5	39	27	42	47	44	49	55	26
		83	10	25	21	41	42	57	62	110	114	77	73
CMAX (mg/L)		104	17	64	7	76	39	124	82	164	106	180	50
		95	24	102	29	90	59	191	146	403	257	329	99
Masa (Kg)		14,1	1,1	2,4	0,3	3,5	1,3	7,5	8,3	3,4	3,8	14,6	4,4
		16,1	0,9	3,0	1,5	3,6	2,1	10,2	11,0	8,5	8,8	20,5	12,2
Valores sintéticos durante el periodo de muestreo obtenidos a partir del ajuste de variables con valores intra-suceso (% de estimación error)													
CMS (mg/L)		SST	72 (1%)	9 (23%)	21 (1%)	5 (1%)	36 (8%)	30 (12%)	36 (15%)	50 (8%)	-	51 (3%)	-
		DQO	83 (0%)	12 (12%)	26 (5%)	18 (13%)	42 (4%)	44 (4%)	52 (8%)	59 (4%)	-	106 (7%)	-
CMAX (mg/L)		SST	79 (23%)	10 (39%)	69 (8%)	7 (7%)	74 (4%)	39 (1%)	84 (32%)	109 (34%)	-	105 (0%)	-
		DQO	90 (5%)	12 (49%)	138 (35%)	20 (29%)	85 (5%)	57 (3%)	176 (8%)	144 (1%)	-	260 (1%)	-
Masa (Kg)		SST	14,0 (1%)	0,8 (23%)	2,4 (1%)	0,3 (1%)	3,2 (8%)	1,5 (12%)	6,4 (15%)	9,0 (8%)	-	3,9 (3%)	-
		DQO	16,1 (0%)	1,0 (12%)	3,1 (5%)	1,3 (13%)	3,7 (4%)	2,2 (4%)	9,4 (8%)	10,5 (4%)	-	8,1 (7%)	-
Valores sintéticos durante el periodo de muestreo obtenidos a partir del ajuste de variables con valores de todos los sucesos (% de estimación error)													
CMS (mg/L)		SST	30 (59%)	15 (23%)	17 (16%)	8 (65%)	40 (1%)	22 (17%)	41 (2%)	46 (2%)	-	56 (14%)	-
		DQO	49 (42%)	39 (275%)	29 (17%)	20 (1%)	63 (55%)	58 (39%)	65 (15%)	69 (12%)	-	91 (20%)	-
CMAX (mg/L)		SST	46 (55%)	17 (1%)	49 (24%)	15 (104%)	85 (11%)	33 (15%)	87 (29%)	89 (10%)	-	112 (6%)	-
		DQO	73 (23%)	45 (90%)	76 (25%)	38 (34%)	130 (44%)	86 (45%)	133 (30%)	161 (10%)	-	209 (19%)	-
Masa (Kg)		SST	5,8 (59%)	1,3 (23%)	2,0 (165)	0,6 (65%)	3,5 (1%)	1,1 (17%)	7,4 (2%)	8,2 (2%)	-	4,3 (14%)	-
		DQO	9,4 (42%)	3,4 (275%)	3,5 (17%)	1,5 (1%)	5,5 (55%)	2,9 (39%)	11,7 (15%)	12,3 (12%)	-	7,0 (20%)	-

### 3.1. Rendimiento de la técnica SUDS

Las eficiencias de eliminación (EE) de los contaminantes analizados por la unidad de tratamiento se calcularon utilizando los valores de CMS medidos en las secciones de entrada y salida. La Tabla 2 presenta los resultados de los SST y DQO “sintéticos” en el agua de entrada y salida para 7 sucesos de lluvia a partir de las medidas de turbidez. La ratio de eficiencia se define en términos del promedio de CMS de los contaminantes a lo largo de un periodo de tiempo:

$$EE = \frac{CMS_{promedio,entrada} - CMS_{promedio,salida}}{CMS_{promedio,entrada}} \cdot 100$$

Las eficiencias de eliminación varían en función de las concentraciones de contaminantes que entran. Como la eficiencia de un sistema no suele ser relevante cuando las concentraciones de contaminantes entrantes son bajas, muchos protocolos de aceptación de tecnologías SUDS establecen una concentración mínima de afluente para determinar las eficiencias, que suele oscilar entre 20-50 mg/L de SST (TAPE, 2011). Las concentraciones bajas de partículas en la entrada se descartaron por debajo de 35 mg/L de SST, con el fin de calcular la eficiencia de eliminación. La Tabla 2 muestra los resultados de la CMS calculados para todos los eventos, utilizando el ajuste general en la estimación de los parámetros de contaminación sintética.

Tabla 2.- Resultados generales ajustados de todos los sucesos de lluvia, tanto los muestreados de forma discreta como los que solo tuvieron medida de la turbidez en continuo.

Suceso	Fecha (días/mes/año)	DTSP (días)	Duración (hh:mm)	Caudal medio (L/s)	Caudal max. (L/s)	Volumen de escorrentía (m³)	CMS (mg/L)				Rendi- miento de eliminación	
							SST		DQO		SST	DQO
							Entrada	SFAM Salida	Entrada	SFAM Salida		
Suceso 1	27-28/12/2014	0,8	12:05	35,0	158,7	1.532	55	21	86	55	62%	36%
Suceso 2	11/01/2015	13,8	6:56	6,6	32,5	166	45	14	71	37	69%	48%
Suceso 3	14-15/02/2015	8,8	17:45	6,2	17,8	397	60	29	94	75	52%	20%
Suceso S1	08-09/12/2015	0,3	16:20	49,2	302,1	2.908	135	40	204	104	70%	49%
Suceso S2	30-31-01/02/2015	2,5	61:25	48,0	204,5	10.637	112	22	170	58	80%	66%
Suceso S3	26-27/04/2015	7,4	26:10	37,3	206,7	3.524	76	26	116	68	66%	42%
Suceso S4	19/05/2015	2,0	6:00	11,3	61,4	248	97	6	147	16	94%	89%

La media de los resultados de la eficiencia en la eliminación de SST y DQO para todos los eventos fue del 73 % y 54 %, respectivamente. La eficiencia de eliminación de la DQO es comúnmente menor debido a que su fracción disuelta que no es eliminada por los sistemas de tratamiento diseñados para eliminar las partículas.

Durante la campaña se detectaron tasas rápidas de obstrucción del sistema SFAM y fue necesaria una limpieza y sustitución de las membranas para mantener que por ellas pasase un 50% de caudal máximo de la instalación, que es lo que correspondía por su diseño. El sistema de filtración utiliza varios procesos de autolimpieza para eliminar las partículas acumuladas en las superficies externas de las membranas, que incluyen un retrolavado pasivo, los pulsos vibratorios y la propia gravedad. Combinados, estos procesos prolongan la vida útil del cartucho de filtración y el intervalo de mantenimiento. La reducción de las tasas de flujo de tratamiento en el filtro se relacionó con dos factores principales. El primero fue la presencia continua de una entrada de agua permanente de 2-4 L/s en la unidad, particularmente en la estación húmeda, relacionada con la naturaleza y la extensión de la cuenca. Este flujo de base reducía significativamente la capacidad de retrolavado del sistema de filtros. La segunda era la presencia continua de concentraciones muy significativas de hidrocarburos en los flujos de entrada que quedaban atrapados en la superficie de la membrana junto con los sólidos en suspensión. Las concentraciones de hidrocarburos estaban por encima de las cargas medias estimadas en la escorrentía de la autopista debido a la proximidad de dos grandes gasolineras y grandes áreas de aparcamiento.

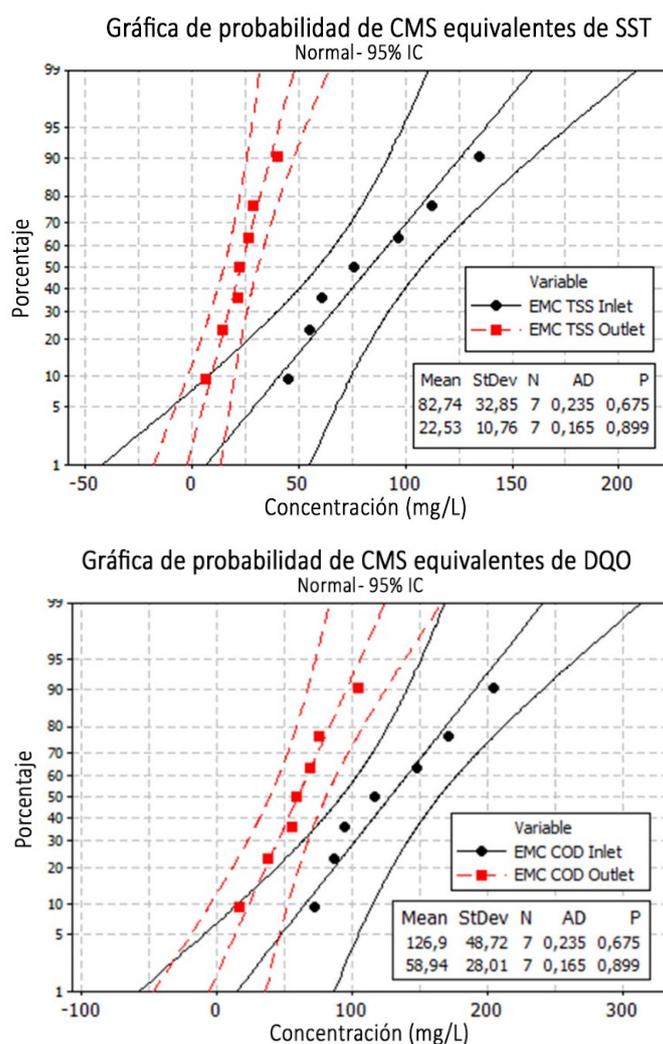


Figura 4.- Valores de afluente y efluente de SST y DQO "sintéticos", en 7 sucesos de lluvia, con ajustes de probabilidad normal.

También se utilizó el procedimiento de la USEPA conocido como "Método de la probabilidad de los efluentes" para evaluar el rendimiento del sistema de tratamiento (EPA y ASCE, 2002). En la Figura 4 se presenta la función de probabilidad acumulada para los SST y DQO de los afluentes y de los efluentes a la infraestructura de control. En este gráfico se puede observar que cuando entran concentraciones bajas de SST (por debajo de 35 mg/L) y DQO los rendimientos bajan. Los datos muestran una clara tendencia que indica un aumento del rendimiento de eliminación de los SST cuando los valores de entrada son altos.

## **4. CONCLUSIONES**

Los resultados mostraron que el uso de sonda de medida en continuo es válido, y de gran utilidad, para cuantificar la eficiencia de las técnicas SUDS. Es posible utilizar mediciones en continuo de turbidez, una vez corregidas a partir de medidas realizadas en laboratorio en muestras de agua tomadas en varios sucesos de lluvia, para determinar las CMS en los flujos de entrada y salida de una unidad de tratamiento de aguas de escorrentía de autopista.

Se comprobó que la turbidez estaba fuertemente correlacionada con los sólidos en la escorrentía de las aguas pluviales de las autopistas. Al desarrollar la regresión y las relaciones estadísticas entre las muestras analizadas en el laboratorio y las mediciones de los sensores, es posible proporcionar estimaciones en continuo de la concentración y las cargas bajo flujos de escorrentía cambiantes y condiciones estacionales. Las correlaciones entre la turbidez y los SST y la DQO fueron más fuertes en la entrada que en la salida del tratamiento debido a la mayor variabilidad relativa en concentraciones más bajas de la salida.

El tratamiento combinado de SHV y SFAM mostró tasas de eliminación de sólidos en suspensión y de materia orgánica razonablemente buenas empleando este tipo de metodologías de evaluación.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- ANTA, J.; CAGIAO, J.; SUÁREZ, J. (2009). "Análisis de la movilización de sólidos en suspensión de una cuenca urbana separativa mediante la aplicación del muestreo en continuo de la turbidez". Ingeniería del Agua, Vol.16, N° 3, pp. 189-200. DOI: [ia.2009.2952](https://doi.org/10.2009.2952)
- APHA (2012). "Standard Methods for examination of Water and Wastewater". 22nd ed. American Public Health Association/ American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC, USA. ISBN: 0875530133 ISBN: 9780875530130.
- BIDEGI (2012). "Proyecto de Tratamiento de las Escorrentías Provenientes de la calzada en el Segundo Cinturón de Donostia-San Sebastián PK 21+745 y PK 22+125". Diputación Foral de Gipuzkoa. Departamento de Infraestructuras Viarias.
- CDEP (2004). "Connecticut Stormwater Quality Manual". Connecticut Department of Environmental Protection. DEP. Bureau of Water Management, Inland Water Resources Division. [https://portal.ct.gov/-/media/DEEP/water\\_regulating\\_and\\_discharges/stormwater/manual/StormwaterManualCompletepdf.pdf](https://portal.ct.gov/-/media/DEEP/water_regulating_and_discharges/stormwater/manual/StormwaterManualCompletepdf.pdf)
- EPA-ASCE (2002). "Urban Stormwater BMP Performance Monitoring". American Society of Civil Engineers and US Environmental Protection Agency. Report 821-B-02-001.
- EUSKALMET. Basque country weather agency. Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología. Eusko Jaurlaritza. Gobierno Vasco. [www.euskalmet.euskadi.eus](http://www.euskalmet.euskadi.eus)
- FARAM, M. G.; IWUGO, K. O.; ANDOH, R. Y. G. (2006). "Quantification of persistent pollutants captured by proprietary stormwater sediment interceptors". 10th Int. Specialized Conference on Diffuse Pollution and Sustainable Basin Management, Sep. 18-22, 2006. Istanbul, Turkey.
- FHWA (2000). "Stormwater Best Management Practices in an Ultra-Urban Setting: Selection and Monitoring". U.S. Department of transportation. Federal Highway Administration. Report FHWA-EP-00-002. [https://www.environment.fhwa.dot.gov/Env\\_topics/water/ultraurban\\_bmp\\_rpt/index.aspx](https://www.environment.fhwa.dot.gov/Env_topics/water/ultraurban_bmp_rpt/index.aspx)
- FLECHER, T. D.; DELETIC, A. (2007). "Statistical observations of a stormwater monitoring programme; lessons for the estimation of pollutant loads". NOVATECH 2007. 6th international Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management. 1575-1582. ISBN (Print): 2950933777.
- HANNOUCHE, A.; CHEBBO, G.; RUBAN, G.; TASSIN, B.; LEMAIRE, B. J.; JOANNIS, C. (2011). "Relationship between turbidity and total suspended solids concentration within a combined sewer system". Water Science and Technology, 64 (12), 2445-2452. DOI: [wst.2011.779](https://doi.org/10.2166/wst.2011.779).
- HVITVED-JACOBSEN, T.; VOLLERSEN, J.; HAANING, A. (2010). "Urban and highway stormwater pollution". Concepts and Engineering. CRC Press. ISBN: 9781439826850.
- JIMÉNEZ, V.; DE LA VEGA, F.; DEL RÍO, H.; URES, P.; ANTA, J.; JÁCOME, A.; SUÁREZ J. (2013). "Mobilization of heavy metals in highway runoff with medium average daily traffic. Study of a pilot catchment in Galicia (Spain)". The 16th International Conference on Diffuse Pollution and Eutrophication, Beijing, China, 18-23 August, 2013.
- MÉTADIER, M.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L. (2012). "The use of long-term on-line turbidity measurements for the calculation of urban stormwater pollutant concentrations, loads, pollutographs and intra-event fluxes". Water Research, 46(20), 6836-56. DOI: [j.watres.2011.12.030](https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.030).
- MÉTADIER, M.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L. (2011). "From mess to mass: a methodology for calculating storm event pollutant loads with their uncertainties, from continuous raw data time series". Water Science and Technology 63 (3), 369-376. DOI: [wst.2011.230](https://doi.org/10.2166/wst.2011.230).
- NCHRP (2012). "Turbidity reduction and monitoring strategies for highway construction projects". National Cooperative Highway Research Program - NCHRP Project 25-25(74) Final Report. [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP25-25\(74\)\\_FR.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP25-25(74)_FR.pdf)

- TAPE (2011). "Technical Guidance Manual for Evaluating Emerging Stormwater Treatment Technologies". Technology Assessment Protocol – Ecology, 11-10-06. Washington State Department of Ecology. <https://ecology.wa.gov/Regulations-Permits/Guidance-technical-assistance/Stormwater-permittee-guidance-resources/Emerging-stormwater-treatment-technologies>
- WAGNER, R.J.; MATTRAW, H.C.; RITZ, G.F.; SMITH, B.A. (2000). "Guidelines and Standard Procedures for Continuous Water-Quality Monitors-Site Selection, Field Operations, Calibration, Record Computation, and Reporting". U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00-4252. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/tm1D3>