

# COMPARACIÓN BÁSICA DE LA BIODEGRADABILIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA RED UNITARIA EN TIEMPO SECO Y EN TIEMPO DE LLUVIA

*Basic comparison of the wastewater biodegradability in a sewer system in dry and wet weather.*

Joaquín Suárez López<sup>1</sup>  
Héctor Del Río Cambeses<sup>2</sup>  
Alfredo Jácome Burgos<sup>2</sup>  
Montserrat Martínez Puentes<sup>3</sup>  
Anna Llopart-Mascaró Bassols<sup>3</sup>  
Rubén Ruiz Arriazu<sup>3</sup>  
Pere Malgrat Bregolat<sup>3</sup>  
Pablo Ures Rodríguez<sup>2</sup>  
Jerónimo Puertas Agudo<sup>2</sup>



Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil. (CITEEC), Universidade da Coruña (UdC). Campus de Elviña s/n, A Coruña 1507, ESPAÑA. Telf: (0034)981.167.000 – Ext: 1456. e-mail: [jsuarez@udc.es](mailto:jsuarez@udc.es)

## **Abstract**

*In this communication, an analysis of the variation of the biodegradability characteristics of wastewater from a subbasin of the town of Santiago de Compostela (Spain), both in dry and wet weather, has been made. Conducted field campaigns revealed strong differences in experimental concentrations of pollution parameters such as BOD<sub>5</sub>, COD or suspended solids. The concentration values in wet weather reached maximum values 5-6 times higher than those of dry weather, and event mean concentrations (EMC) are the same order of magnitude or higher than dry weather. This phenomenon is caused by the resuspension of sediments in the sewer system. This water, in conventional sewerage, would be discharged into the receiving environment through the spillways without any treatment. One of the current strategies to control discharges in wet weather is the construction of stormwater tanks. This means that a large part of rainfall runoff (80% -90%) will be managed at the WWTP. The stormwater tanks are progressively emptied and the water goes through biological treatment. In this paper it is deduced that wastewater from a sewer system in wet weather has a slightly lower biodegradability than water sampled in dry weather. The analysis of the influent COD-BOD<sub>5</sub> relation, presence of soluble COD, and BOD<sub>5</sub>-BOD<sub>1</sub> relation, and the study of biodegradation rates using respirometers showed this up. K<sub>1</sub> values obtained range from 0.2 d<sup>-1</sup> to 0.3 d<sup>-1</sup> with an average of 0.25 d<sup>-1</sup>.*

**KeyWords:** CSO biodegradability, deoxygenation rate, wet weather pollutant, K<sub>1</sub>.

<sup>1</sup> UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad de Cantabria. Profesor Titular de Universidad en la E.T.S. Ing. Caminos, Canales y Puertos de la Universidade da Coruña. Coordinador de Ingeniería Sanitaria y Ambiental en el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA). Campus de Elviña s/n, A Coruña 1507, ESPAÑA. E-mail: [jsuarez@udc.es](mailto:jsuarez@udc.es). Telf: (0034)981.167.000 – Ext: 1456

<sup>2</sup>Universidade da Coruña (ESPAÑA)

<sup>3</sup>Clavegeram de Barcelona, S.A - CLABSA. C/ Acer, 16, 2a planta. 08038 - Barcelona (ESPAÑA). Tel. 932896800

# COMPARACIÓN BÁSICA DE LA BIODEGRADABILIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA RED UNITARIA EN TIEMPO SECO Y EN TIEMPO DE LLUVIA

## Resumen

En la presente comunicación se ha realizado un análisis de la variación de las características de biodegradabilidad de las aguas residuales de una subcuenca de saneamiento de la ciudad de Santiago de Compostela (España), tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia. Las campañas de campo realizadas pusieron de manifiesto las fuertes diferencias en concentraciones existentes de parámetros de contaminación tales como DBO<sub>5</sub>, DQO o Sólidos en Suspensión. Los valores de concentraciones en tiempo de lluvia llegan a máximos 5-6 veces los valores de tiempo seco, y las concentraciones medias de suceso (CMS) son del mismo orden de magnitud o superiores a las de tiempo seco. Este fenómeno se produce por la resuspensión de sedimentos en la red. Esta agua, en redes de saneamiento convencionales, sería vertida al medio receptor a través de los aliviaderos sin ningún tipo de tratamiento.

Una de las estrategias actuales de control de los vertidos en tiempo de lluvia es la construcción de depósitos de tormenta. La construcción de los mismos implica que una gran parte de la escorrentía de lluvia será gestionada en la EDAR (80%-90%). Los depósitos se vaciarán progresivamente y el agua pasará por tratamiento biológico.

En esta comunicación se muestra que las aguas residuales de una red unitaria en tiempo de lluvia presentan una biodegradabilidad ligeramente más baja que las aguas de tiempo seco. El análisis de la relación DQO-DBO<sub>5</sub>, presencia de DQO soluble, relaciones entre DBO<sub>1</sub> y DBO<sub>5</sub>, y el estudio de las tasas de biodegradación en respirómetros, así lo han puesto de manifiesto. Los valores de K<sub>1</sub> obtenidos oscilan entre 0,2 d<sup>-1</sup> y 0,3 d<sup>-1</sup>, con un valor medio de 0,25 días<sup>-1</sup>.

**Palabras claves:** Biodegradabilidad, tiempo de lluvia, DSU, tasa de degradación de la DBO, K<sub>1</sub>.

## Introducción

Cuando se estudia la problemática de las aguas pluviales en los sistemas de saneamiento y drenaje es preciso diferenciar tres tipos de fenómenos de contaminación asociados:

- El primero es el generado por las aguas de escorrentía contaminada que llega de forma directa, o a través de redes de alcantarillado separativas, redes de drenaje urbano, a las masas de agua receptoras. La escorrentía superficial lava las superficies de los tejados y de las calles y se carga de numerosos contaminantes de forma significativa.
- El segundo tipo de fenómeno de contaminación es el generado por los reboses del Alcantarillado Unitario (RAU) (DSU, Descargas de Sistemas Unitarios en tiempo de lluvia, CSO en la literatura anglosajona), con aguas que son mezcla de aguas pluviales contaminadas y aguas residuales urbanas convencionales. En estas últimas redes hay que tener muy en cuenta el fenómeno de resuspensión de los depósitos de sedimentos y biopelículas existentes en la red, resultado de la sedimentación de partículas y contaminación permitida por el régimen hidráulico existente durante el período de tiempo seco.
- El tercer problema de contaminación asociado a las aguas pluviales es el generado en las depuradoras. Por un lado la punta de caudal que asume la red acaba llegando a la depuradora y si supera su capacidad de tratamiento también se produce un vertido en tal punto. Además, el proceso de depuración puede quedar fuertemente alterado, provocando una bajada de rendimientos, que puede llegar a durar semanas, y que acaba afectando finalmente a la calidad de las aguas en el medio receptor. Además de la sobrecarga hidráulica también se producen fuertes alteraciones debido a las variaciones de carga. Se ha constatado que las concentraciones media de los sucesos (CMS) de lluvia arrojan valores similares, o superiores, en DQO, SS, DBO, etc., a las concentraciones medias de las aguas residuales en tiempo seco. Si los caudales aumentan y las concentraciones se mantienen, en valores medios, los procesos biológicos de las depuradoras deben soportar durante horas y, en ocasiones, durante días, sobrecargas orgánicas muy importantes.

Una solución estructural para el control de los DSU a los medios acuáticos en tiempo de lluvia en los sistemas unitarios es la construcción de los denominados tanques de tormenta (los más comunes en España son los de tipo depósito de detención-aliviadero, que en determinadas configuraciones, y con un volumen adecuado (20 a 60 m<sup>3</sup>/ha neta en función de los objetivos a cumplir), llegan a controlar hasta el 90% de las aguas de escorrentía de una cuenca urbana. Los depósitos actúan como reguladores, ya que se limita el caudal que se envía por los interceptores generales hacia la EDAR. El vaciado de los depósitos de un sistema puede llegar a muchas horas, incluso días. Durante ese tiempo la EDAR queda sometida a caudales máximos de tratamiento y el agua que recibe presenta una contaminación muy próxima a los valores de CMS de los sucesos de lluvia que se mostrarán a continuación. Muy pocas depuradoras se diseñan teniendo en cuenta estas situaciones de estrés en tiempo de lluvia y como consecuencia de ello se reducen enormemente los rendimientos (CEDEX, 2008).

Una gran parte de la contaminación vertida a través de los RAU, y de la que llega a las EDAR generando sobrecargas, es materia orgánica. Esta materia orgánica procede tanto del agua residual de tiempo seco como de los materiales movilizados por las aguas pluviales, que en parte son las sustancias lavadas y arrastradas desde la superficie de la cuenca y, en parte, los sedimentos acumulados en la red de alcantarillado; esta última supone una aportación mucho más importante.

Los estudios que se presentan a continuación son parte de los trabajos desarrollados en el Proyecto SOSTAQUA - "DESARROLLOS TECNOLÓGICOS PARA UN CICLO URBANO DEL AGUA AUTOSOSTENIBLE. Línea de trabajo: 3.- Valorización de aguas pluviales". En SOSTAQUA, y en otros proyectos de investigación, se ha puesto de manifiesto que los flujos máxicos de DQO, DBO<sub>5</sub> y SS aportados por los sedimentos representan, con frecuencia, más del 75% (en ocasiones hasta el 90%) del flujo máxico total en los sucesos de lluvia. La materia orgánica de los sedimentos presenta características diferentes a la que fluye por los colectores durante el tiempo seco. Difiere tanto en la forma en que se presenta, fracciones disuelta y particulada, como en sus características, más o menos biodegradable. Estas características especiales determinan que el impacto de los RAUs sobre los medios acuáticos receptores sea diferente a los impactos que generaría un vertido de agua residual "convencional". Asimismo, los biológicos de las depuradoras recibirán un agua con características de biodegradabilidad diferente, teniendo como consecuencia una variación en las demandas de oxígeno y de los rendimientos.

La bibliografía disponible en la que se analizan los aspectos anteriores es muy escasa, por lo que en el Proyecto SOSTAQUA se consideró de interés analizar la biodegradabilidad de las aguas de los sucesos de lluvia de la cuenca unitaria de El Ensanche, de Santiago de Compostela.

## **Objetivos**

El estudio que se presenta ha tenido como objetivos fundamentales los siguientes:

- Caracterizar tanto las aguas residuales de tiempo seco de una cuenca de saneamiento unitaria como las aguas que fluyen durante el tránsito de eventos de lluvia.
- Una vez tomadas las muestras y realizadas las determinaciones analíticas se ha realizado un análisis comparativo de las mismas.
- Valorar la incidencia de las similitudes o diferencias encontradas en las características de las aguas residuales caracterizadas sobre las depuradoras y sobre el medio receptor, en el caso de su vertido al mismo.

## **Metodología**

Se analizaron los flujos de tiempo seco y de tiempo de lluvia en la cuenca unitaria del "Ensanche" (superficie de 20 ha, 13000 hab.) en Santiago de Compostela, capital de la Comunidad Autónoma de Galicia, en el noroeste de España. Esta cuenca presenta unas características de densa urbanización con usos comercial y residencial, alta impermeabilización y pendiente media moderada. Se seleccionó el emplazamiento de la sección de control en un punto de la red de alcantarillado aguas abajo de la cuenca y se dotó de la instrumentación necesaria para el estudio (un caudalímetro Hach Sigma 950, un tomamuestras automático Sigma 900) y, en el seno de la cuenca, se instaló un pluviómetro para el conocimiento de los hietogramas de los aguaceros. Las medidas de caudal eran enviadas a un servidor "online" mediante un módulo de comunicación de datos por GPRS.

Una vez instalada la sección de control, la metodología de trabajo consistió en:

- Análisis de comportamiento hidrológico-hidráulico de la cuenca: estudio de hietogramas-hidrogramas generados en tiempo de lluvia y determinación de los caudales de tiempo seco. Se realizó la modelización de la cuenca con el SLMM y el Infoworks.
- Campaña de tiempo seco: toma de muestra cada 3 horas (en ocasiones cada 2 horas) durante varios días de tiempo seco (6, entre laborables y fin de semana) para la determinación de las concentraciones y cargas de contaminación asociadas a las aguas residuales urbanas generadas en la cuenca en tiempo seco. Se tomaron más de 60 muestras en total, sobre las que se realizó una completa analítica.
- Campañas en tiempo de lluvia: consisten en caracterizar eventos o sucesos de lluvia; el arranque del tomamuestras automático en tiempo de lluvia se realiza mediante una señal de alarma enviada desde el caudalímetro de la sección; la toma de muestra se realiza a intervalos más cortos en el comienzo del hidrograma del suceso. En total se tomaron 8 muestras en cada uno de los 10 sucesos caracterizados.

Los parámetros convencionales de contaminación medidos en ambas campañas han sido: DQO, DQO soluble, DBO<sub>5</sub>, carbono orgánico total y disuelto (COT y COD), nitrógeno total y amoniacal, fósforo total y fosfatos, sólidos en suspensión, sólidos en suspensión volátiles, sólidos disueltos, sólidos disueltos volátiles, sólidos totales, sólidos totales volátiles, turbidez, conductividad a 20°, pH y alcalinidad. También se realizó la medida de metales pesados, sustancias peligrosas prioritarias, y de sustancias de cuidado personal y medicamentos. En esta comunicación se muestran algunos de los valores medidos.

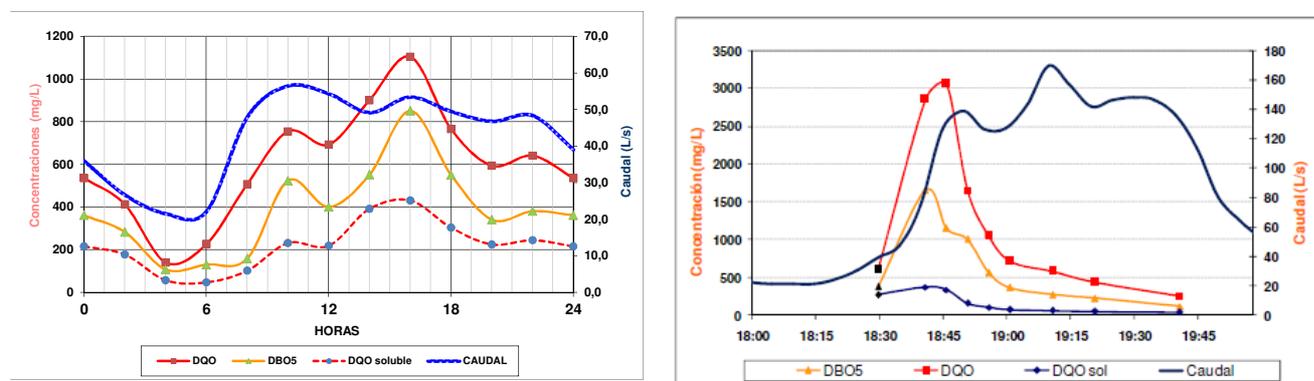
Una vez tomadas las muestras las actividades que se realizaron fueron las siguientes:

- Trabajo de laboratorio: determinaciones analíticas de los parámetros de contaminación considerados en las muestras obtenidas tanto de los días de tiempo seco como de los sucesos de lluvia estudiados.
- Trabajo de gabinete: elaboración de los hidrogramas y polutogramas de cada contaminante en los sucesos de lluvia estudiados, identificación de las proporciones asociadas a las aguas residuales de tiempo seco y determinación y análisis de los flujos máxicos asociados a la escorrentía urbana para cada contaminante, parametrización de los sucesos de lluvia, análisis estadístico de los resultados y comparación con otras cuencas unitarias estudiadas.

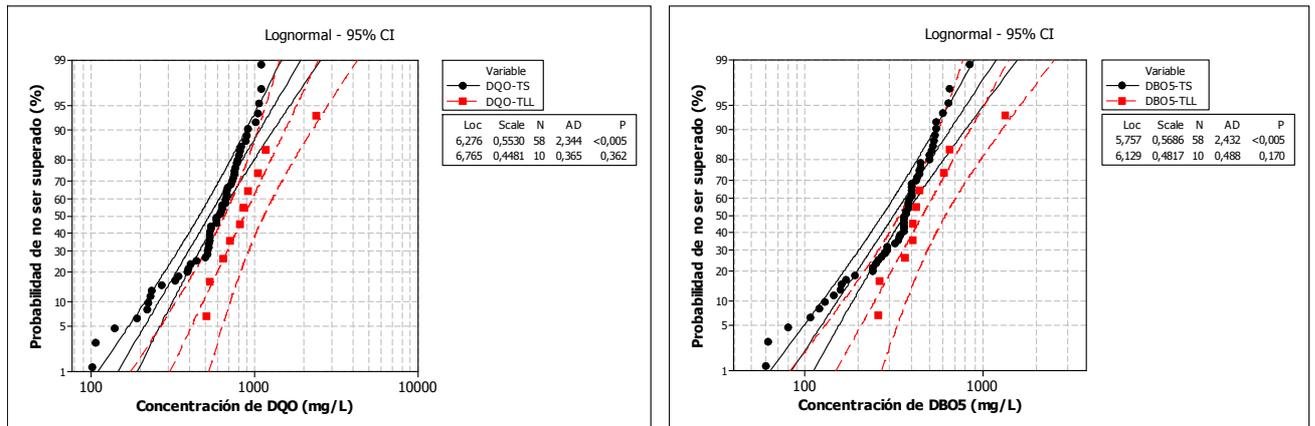
Con el fin de determinar la  $K_1$ , o tasa de desoxigenación por degradación de la materia orgánica, se realizaron ensayos de DBO<sub>20</sub>, con registros diarios (mediante método manométrico electrónico). Los valores de los ensayos se ajustaron mediante tres metodologías diferentes: método de Thomas, método de los mínimos cuadrados, y método Fujimoto.

## Resultados

En las gráficas siguientes se presentan la caracterización realizada en un día de tiempo seco y la realizada en un suceso de lluvia, en concreto el Suceso 7 (S-7).

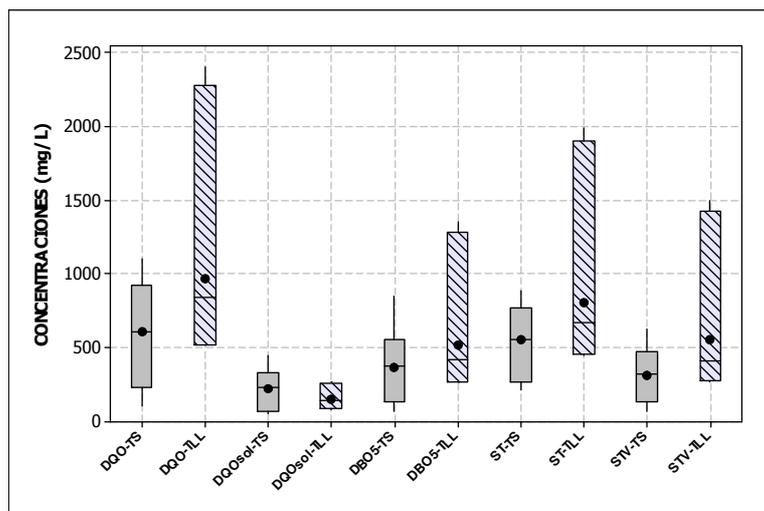


**Figura 1: Ejemplo de hidrograma y polutogramas de uno de un día de tiempo seco y de un suceso de lluvia (Suceso 7) caracterizados en la cuenca de “El Ensanche”.**



**Figura 2: Funciones de probabilidad que comparan los valores de tiempo seco medidos y los valores de CMS de DBO<sub>5</sub> y de DQO.**

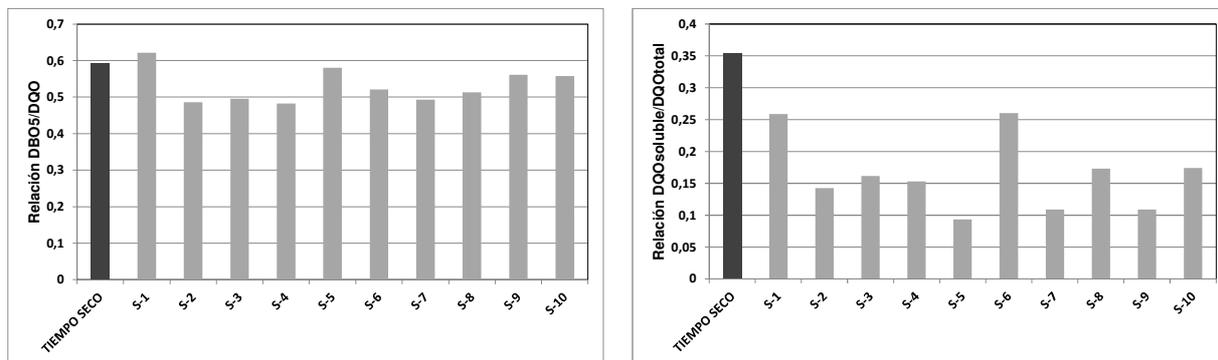
Las gráficas anteriores muestran que los valores de las CMS son del mismo orden de magnitud, o un poco superiores a los medidos en tiempo seco. Esta caracterización permite afirmar que el agua que irá liberando un depósito hacia la EDAR va a tener concentraciones iguales o superiores a las de tiempo seco. No se envía agua diluida, como en un principio podría suponerse.



**Figura 3: Comparación de valores de diferentes contaminantes en tiempo seco y en tiempo de lluvia (rango 10% y 90% de intervalo de confianza).**

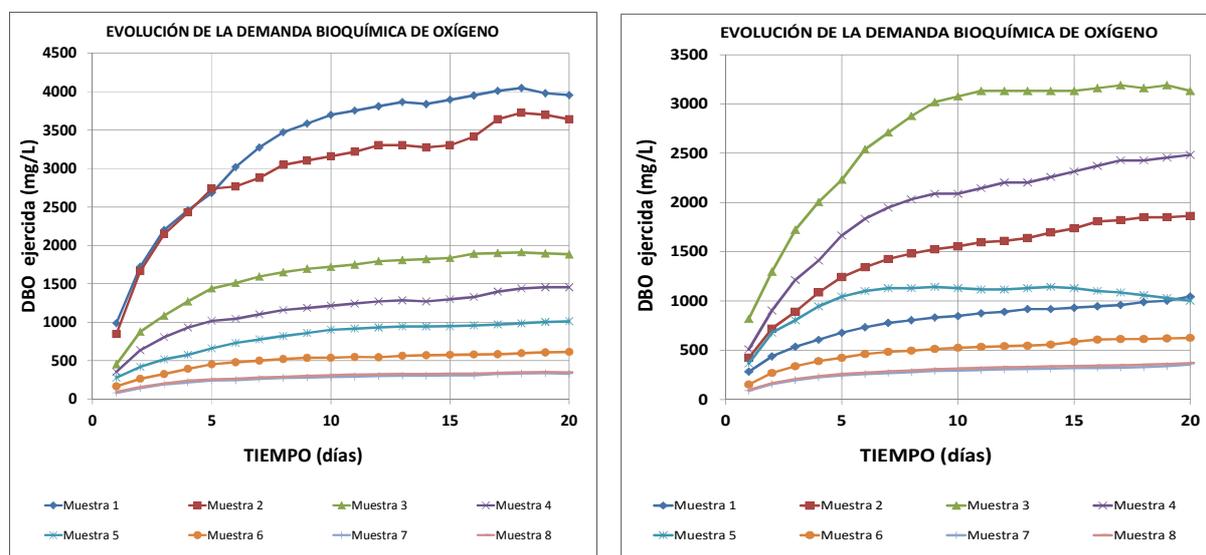
En otros de los contaminantes caracterizados se puede apreciar la misma tendencia. En contaminantes como el nitrógeno amoniacal, que se presentan en forma disuelta, los fenómenos comentados son menos importantes, y se llega a producir dilución.

Las relaciones entre DBO<sub>5</sub> y DQO que se muestran en la figura siguiente ponen de manifiesto que las proporciones entre ambas son muy similares en tiempo seco y en tiempo de lluvia, apenas un 10% de media de diferencia; más presencia relativa de DBO<sub>5</sub> en tiempo seco. La comparación entre DQO total y DQO soluble muestra claras diferencias, se moviliza mucha DQO particulada en tiempo de lluvia. La DQO soluble pasa de valores del 35% de presencia a valores del orden del 15%.



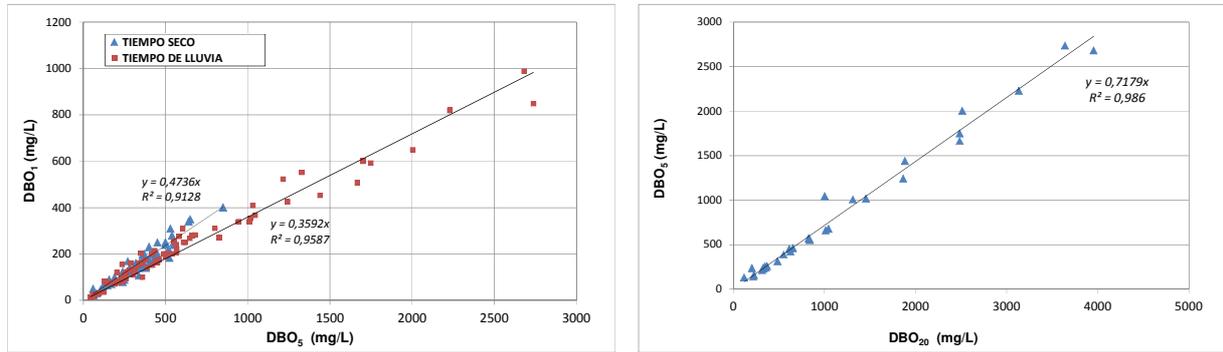
**Figura 4: Análisis de las relaciones DBO5/DQO y de DQO soluble/DQO total.**

A continuación se muestran las curvas de los ensayos de DBO<sub>20</sub> a cada una de las muestras tomadas en dos sucesos de lluvia caracterizados. Para cada una estas curvas se calculó la tasa de degradación, o desoxigenación,  $K_1$ .



**Figura 5: Ejemplo de datos del ensayo de DBO<sub>20</sub> de agua residual en tiempo de lluvia (Suceso 9 y Suceso 10).**

Si se representan de forma enfrentada los valores de DBO<sub>1</sub> y de DBO<sub>5</sub> se pueden calcular, mediante el análisis de las pendientes de rectas de ajuste, los % de ejecución que representa la DBO<sub>1</sub> respecto a la DBO<sub>5</sub>, que implícitamente representan las velocidades de degradación de la materia orgánica en esos primeros días.

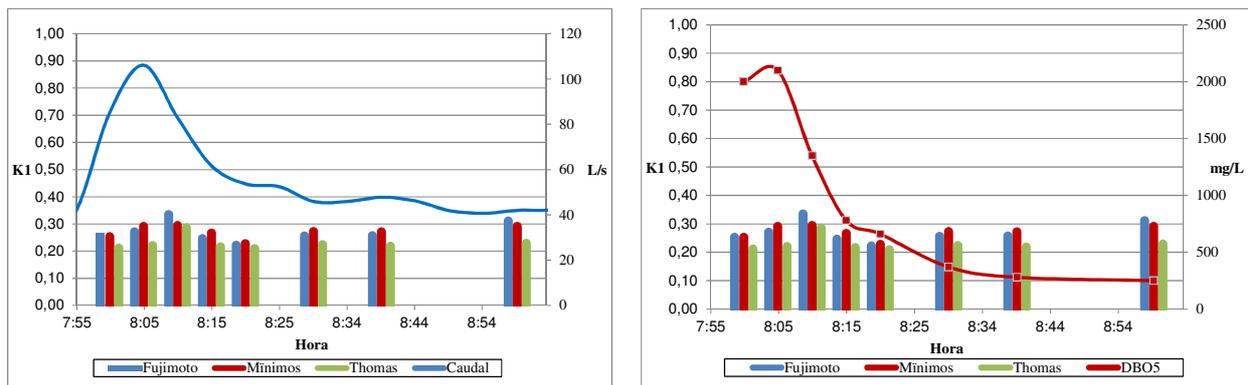


**Figura 6: Análisis de las velocidades de degradación de la materia orgánica en los primeros días de ensayo y relación entre la DBO<sub>5</sub> y la DBO<sub>u</sub> en las aguas caracterizadas en tiempo de lluvia.**

La figura anterior muestra que las aguas caracterizadas en tiempo de lluvia son del orden de un 10% menos biodegradables que las aguas residuales de tiempo seco (pendiente de 0,36 frente a pendiente de 0,47).

**TABLA 1: Valores de la tasa de biodegradabilidad K<sub>1</sub> (días<sup>-1</sup>) obtenida en las diferentes muestras tomadas a lo largo de algunos de los sucesos de lluvia caracterizados.**

MUESTRA	S-5	S-7	S-8	S-9	S-10
1		0,26	0,23	0,24	0,23
2		0,29	0,24	0,26	0,21
3		0,32	0,16	0,31	0,24
4	0,21	0,23	0,23	0,24	0,21
5	0,23	0,24	0,25	0,22	0,41
6	0,21	0,25	0,23	0,25	0,23
7	0,26			0,25	0,26
8	0,26			0,28	0,27
Valor medio en suceso	0,23 d <sup>-1</sup>	0,26 d <sup>-1</sup>	0,22 d <sup>-1</sup>	0,26 d <sup>-1</sup>	0,26 d <sup>-1</sup>



**Figura 7: Variación de los valores de K1 a lo largo del Suceso 10.**

La Tabla 1 pone de manifiesto la escasa variación de las tasas a lo largo de un suceso de lluvia. Al comenzar los experimentos se consideraba que los valores podrían ser diferentes por la variación que se va produciendo en un suceso en el tipo de material particulado movilizado, pero dicha hipótesis no se ha visto confirmada.

Se ha revisado la bibliografía clásica de ingeniería sanitaria (Metcalf&Eddy Inc. (1995); Crites (2000); Eckenfelder (1989)) en busca de valores de referencia de  $K_1$  y se ha constatado que son realmente muy escasas. Se revisó también la bibliografía más importante de modelización de calidad de aguas de medios acuáticos (Thoman-Mueller (1987); Chapra (1997)) y tampoco son muchas las referencias encontradas. En las tablas siguientes se presentan los valores encontrados y sus referencias.

**TABLA 2: Valores de la tasa de degradación  $K_1$ .**

TIPO DE AGUA	RANGO Y VALOR MEDIO	REFERENCIA
Agua residual sin tratar	0,15 – 0,28	Eckenfelder (1989)
Efluente de proceso biológico normal	0,12 – 0,23	Crites (2000)
Efluente de proceso biológico rendimiento elevado	0,06 – 0,1	Eckenfelder (1989)
Ríos con baja contaminación	0,04 – 0,08	Eckenfelder (1989)

**TABLA 3: Valores de  $K_1$ (20 °C) en días-1 (Thoman-Mueller, 1987)**

NIVEL DE TRATAMIENTO	$K_1$ (días <sup>-1</sup> ) a 20°C		DBO <sub>5</sub> /DBOu
	Rango aprox.	Media aprox.	
Ninguno	0.3 – 0.4	0.35	0,83
Primario/Secundario	0.1 – 0.3	0.20	0,63
Fangos activos	0.05 – 0.1	0.075	0,31
Primario avanzado	---	0.087	0,35

Hay que hacer constar que en los medios acuáticos la tasa de desaparición de la DBO no debe coincidir exactamente con la tasa  $K_1$  calculada en los ensayos, ya que en los medios naturales hay otros fenómenos que hacen disminuir la DBO (sedimentación, consumo por biopelículas en el cauce, etc.).

## Conclusiones

Las relaciones entre DBO<sub>5</sub> y DQO muestran que las proporciones entre ambas son muy similares en tiempo seco y en tiempo de lluvia, apenas un 10% de media de diferencia; más presencia relativa de DBO<sub>5</sub> en tiempo seco. Se moviliza mucha DQO particulada en tiempo de lluvia; la DQO soluble pasa de valores del 35% de presencia a valores del orden del 15%. Las aguas caracterizadas en tiempo de lluvia son del orden de un 10% menos biodegradables que las aguas residuales de tiempo seco.

Los valores de  $K_1$  obtenidos para tiempo de lluvia oscilan entre 0,2 d<sup>-1</sup> y 0,3 d<sup>-1</sup>, con un valor medio de 0,25 días<sup>-1</sup>; se trata de un valor en el rango medio-bajo de las aguas residuales brutas y en el alto de las aguas efluentes de un proceso biológico de bajo rendimiento.

## Referencias Bibliográficas

- CEDEX (2008). "Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano"; Ed. J. Puertas, J. Suárez y J. Anta; Madrid. ISBN 978-84-7790-475-5.
- Crites, R. y G. Tchobanoglous. (2000). "Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones". McGraw-Hill, Interamericana, S.A., Santafé de Bogotá, Colombia. ISBN 958-1-0042-4.
- Chapra, Steven C.; (1997). Surface Water-Quality Modelling. Madrid, Mc.Grown-Hill International Editions.
- Eckenfelder, W. (1989). Industrial water pollution control, McGraw-Hill, New York, 2ª ed, 13-16.
- Metcalf & Eddy Inc. (1995). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización, McGraw-Hill, 3ª ed, 80-90
- Thoman, R.; Mueller, J.A. (1987). "Principles of surface water quality modeling and control"; Harper & Row; U.S.A.;1 Vol.; 644 págs.; ISBN 0-06-04667-4.
- SOSTAQUA (2010) - DESARROLLOS TECNOLÓGICOS PARA UN CICLO URBANO DEL AGUA AUTOSOSTENIBLE. Línea de trabajo: 3.- Valorización de aguas pluviales. CDTI –Proyectos CÉNIT. Participantes: CLABSA, AGBAR, EMUASA, Universidade da Coruña.