

Análisis estadísticos de *Escherichia coli* en 8 EDAR de la Costa Brava

Este estudio intenta dar una visión global de la eliminación de *Escherichia coli* en 8 estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) de la Costa Brava, así como los valores de influente y efluente de esta bacteria. Este trabajo de investigación determina que, como promedio, los procesos de las depuradoras estudiadas son capaces de eliminar 2,36 logaritmos de esta bacteria. También se observa que el promedio en la concentración del influente es del orden de 10^6 y en el caso del efluente, de 10^4 ufc/100 mL de *E. coli*. Este estudio también intenta evaluar las posibles relaciones de esta bacteria con diferentes parámetros fisicoquímicos y de proceso. Los parámetros fisicoquímicos que se han analizado son: DBO₅ y nitrógeno amoniacal con sus respectivos rendimientos de eliminación, turbidez y MES. Por otra parte, en referencia a los parámetros de proceso se han evaluado carga másica (Cm), tiempo de retención hidráulico (TRH) y tiempo de retención celular (TRC) y sus posibles correlaciones.

Palabras clave

EDAR, materia en suspensión (MES), carga másica (Cm), tiempo retención celular (TRC), tiempo retención hidráulica (TRH).

STATISTICS ANALYSIS *ESCHERICHIA COLI* IN 8 WWTP OF COSTA BRAVA

This study tries to have an overall view of the removal of Escherichia coli in 8 wastewater treatment plant (WWTP) of the Costa Brava (Girona, Spain), as well as the influent and effluent values of this bacterium. This research work determines that, on average, the processes of the treatment plants studied are capable to remove 2.36 logarithms of this bacterium. It is also noted that average in the influent concentration is in the order of 10^6 and for the effluent, 10^4 cfu/100 mL of E. coli. This study also tries to evaluate the possible relationships of this bacterium with different physicochemical and process parameters. The physicochemical parameters which have been analysed are: BOD₅ and ammoniacal nitrogen with their respective removal, turbidity and TSS. On the other hand, the process parameters that have been evaluated are F/M ratio, HRT, sludge age and their possible correlations.

Keywords

WWTP, total suspension solids (SS), F/M ratio, sludge retention time (STR), hydric retention time (HRT).

Eva M^a Ciriero

técnica de Proceso Zona Nord de la Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava

Joan Colom

jefe de Laboratorio Zona Nord de la Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava

Cristina Sendra

técnica de Laboratorio Zona Nord de la Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava

Anna M^a Huguet

jefa de Proceso Zona Nord de la Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava



1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la problemática de los recursos agotables y el respeto por el medio ambiente es una de las prioridades de la mayoría de las empresas en el sector de la depuración. Las depuradoras son parte importante en el ciclo del agua, un bien escaso en muchos países e imprescindible para la vida.

La apuesta del Consorcio de la Costa Brava y de la Empresa Mixta d'Aigües Costa Brava (EMACBSA) en la reutilización ha sido desde su inicio un objetivo prioritario en el desarrollo de sus plantas depuradoras, dotándolas de tratamientos terciarios para aumentar el volumen de agua regenerada para diferentes usos.

No obstante, esa calidad empieza en el tratamiento secundario donde no hay un control sobre la eliminación de bacterias patógenas, ya que no es un parámetro regulado por la Directiva europea 91/271 CEE. Por tanto, asegurar esta calidad es esencial para pasar al tratamiento terciario donde se precisarán menos actuaciones para cumplir con la calidad requerida para cada uso según el RD 1620/2007.

Este proyecto se basa principalmente en el análisis estadístico de eliminación de *Escherichia coli* en 8 EDAR de la Costa Brava durante 4 años. Estas EDAR tienen diferentes sensibilidades ambientales, diferentes caudales tratados, así como diferentes tipos de tratamientos. Pero básicamente intenta mostrar la importancia del tratamiento secundario en una depuradora, ya que puede llegar a eliminar el gran porcentaje de las bacterias patógenas del agua residual y poder pasar al siguiente tratamiento con el objetivo de introducirla otra vez en el ciclo del agua como anteriormente se ha mencionado.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Los muestreos se realizaron de junio de 2011 a junio de 2015, periodo en el que se recogieron muestras puntuales mensualmente del influente y efluente de cada EDAR. Las EDAR estudiadas fueron las de la Zona Norte: Portbou, Colera, Llançà, Port de la Selva, Cadaqués, Roses, Castelló d'Empúries y Palau Saverdera.

En la **Tabla 1** se presentan las características más importantes de las diferentes EDAR, como son los tipos de oxigenación, tipos de biológicos y su capacidad de eliminar nutrientes.

Para realizar los análisis fisicoquímicos se siguieron los protocolos descritos en el libro *Métodos Normalizados* de Apha *et al.* Para analizar la DBO₅ se utilizó el método 5210 B; para nitrógeno amoniacal, el método

4500-NH₃ B/4500-NH₃-E y para MES, el método 2540 D. Los valores de la turbidez se recogieron de los turbidímetros de proceso Solitax de Hach Lange debidamente verificados.

Los análisis microbiológicos de las *E. coli* se han realizado por el método estandarizado 9222 de filtración por membrana (Apha *et al.*, 1992) según *Métodos Normalizados* para análisis de aguas potables y residuales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se han dividido en tres partes, donde la primera parte sería descriptiva y las dos siguientes de correlaciones. Así, la segunda parte correlacionaría los resultados obtenidos con los parámetros fisicoquímicos y la tercera, con los parámetros de proceso.

TABLA 1

CARACTERÍSTICAS DE LAS EDAR DE ESTUDIO.

EDAR	Tipos oxigenación		Tipos biológico			Eliminación
	Turbina	Soplantes	Cuadrado	Carrousel	Circular	Nutrientes
1	X		X			
2	X		X			
3		X		X		Nitrógeno
4		X	X			Nitrógeno
5		X	X			
6		X		X		
7		X			X	Nitrógeno y fósforo
8		X			X	Nitrogeno

TABLA 2

ANÁLISIS DE *E. COLI* EN LAS EDAR DE ESTUDIO.

Resultados	<i>E. coli</i> entrada	<i>E. coli</i> secundario	Rendimiento eliminación <i>E. coli</i>
Recuento	384	384	384
Promedio	4,12E+06	5,00E+04	2,36
Media	2,80E+06	1,10E+04	2,37
Mínimo	2,00E+04	1,00E+02	0,40
Máximo	4,90E+07	1,40E+06	4,54

TABLA 3									
ANÁLISIS DE <i>E. COLI</i> EN LAS EDAR DE ESTUDIO SEGÚN ÉPOCAS DEL AÑO.									
Resultados	<i>E. coli</i> influente			<i>E. coli</i> efluente			Rendimiento eliminación log <i>E. coli</i>		
	Invierno	Verano	Total	Invierno	Verano	Total	Invierno	Verano	Total
Recuento	318	72	390	316	73	389	313	71	384
Promedio	3,52E+06	6,94E+06	4,15E+006	3,50E+04	1,13E+05	4,97E+04	2,41	2,12	2,36
Media	2,45E+06	5,15E+06	2,90E+06	8,60E+03	4,50E+04	1,10E+04	2,45	2,12	2,37
Mínimo	2,00E+04	5,00E+05	2,00E+04	1,00E+02	1,10E+02	1,00E+02	0,40	0,59	0,40
Máximo	2,60E+07	4,90E+07	4,90E+07	6,20E+05	1,40E+06	1,40E+06	4,54	4,45	4,54

3.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVOS DE *E. COLI* INFLUENTE, EFLUENTE Y RENDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN

Los resultados generales de las 8 EDAR en los 4 años de estudio con 384 datos recopilados se muestran en la **Tabla 2**. Se observa que la media de *Escherichia coli* en influentes es de $4,12 \cdot 10^6$ ufc/100 mL, para efluentes $5,00 \cdot 10^4$ ufc/100 mL y, por

tanto, el rendimiento de eliminación de esta bacteria es de 2,36 logaritmos durante todo el año.

En la **Tabla 3** se exponen los resultados agrupándolos por diferentes épocas del año. En este caso se ha hecho la distinción entre verano e invierno, donde verano incluye los meses de julio y agosto e invierno, el resto de los meses.

En las **Figuras 1, 2 y 3** se representan los promedios de la concentración de *E. coli* (ufc/100 mL) del influente y efluente y el rendimiento de eliminación en logaritmo 10.

En la **Figura 1** se observa que el promedio de la carga del influente de *E. coli* en verano es mayor, aproximadamente el doble, que en invierno. Esto es debido a que las EDAR de estudio están ubicadas en la costa y en los meses de verano aumenta la población, teniendo la planta un incremento de caudal y de concentración de *E. coli*.

En la **Figura 2** se muestran los promedios del efluente y se puede observar que en verano aumenta la concentración de esta bacteria, unas tres veces, disminuyendo así la calidad del efluente.

Por último, en la **Figura 3** se puede examinar que el rendimiento de eliminación del logaritmo de *E. coli* es ligeramente inferior en verano que en invierno, ya que en general, tal y como se ha mencionado, las EDAR van más forzadas en verano, aunque no es igual en todas las plantas depuradoras. Por esta razón, se analizan por separado las diferentes EDAR para estos dos periodos,

Por tanto, en la **Figura 4** se muestran los resultados de la concentración de *E. coli* del efluente en las diferentes EDAR por los periodos

FIGURA 1. Concentración de *E. coli* a la entrada de la EDAR.

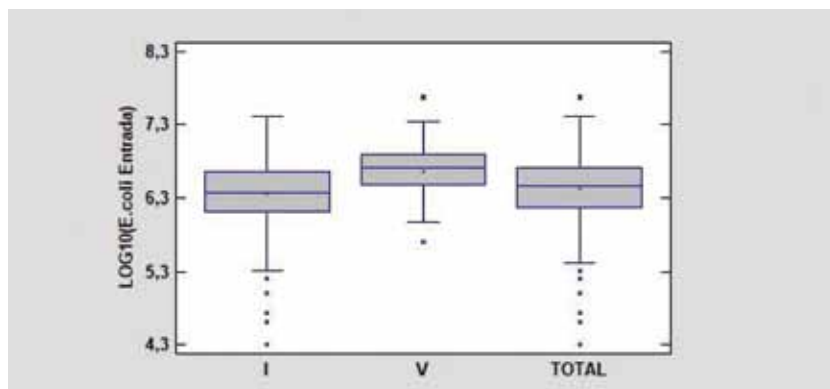
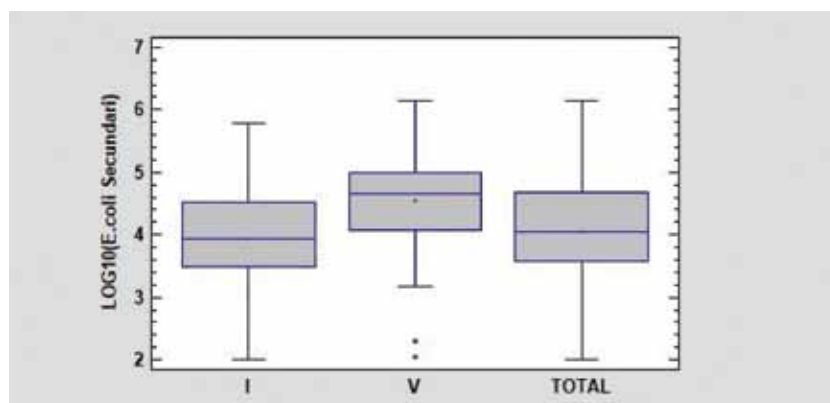


FIGURA 2. Concentración de *E. coli* a la salida de la EDAR.





establecidos, donde 'I' representa al período de invierno y 'V' al de verano. También se puede observar que, a excepción de la planta 5, el aumento en la concentración de *Escherichia coli* en verano es considerable. Esto es debido, como anteriormente se ha avanzado, a que las EDAR van más forzadas durante el verano debido al aumento de caudal y carga. Además de estos factores, se une el inconveniente que no todas las EDAR disponen de líneas adicionales.

En la **Figura 5** se puede examinar los rendimientos de la eliminación del logaritmo de *E. coli* y se aprecia que son ligeramente inferiores en verano, a excepción de las EDAR 3, 5 y 8. Tal y como se ha reportado en la figura anterior, la calidad del efluente se ve mermada en esta época del año debido a la mayor entrada de caudal y carga y, por ese motivo, disminuye el rendimiento, aunque cabe destacar que el proceso elimina bastante más *E. coli* en proporción, ya que el influente es también mayor. Las EDAR en las que se observan mayor rendimiento de eliminación en verano puede deberse a su diseño y a una correcta capacidad de aireación (EDAR 3 y 8) y la puesta en marcha de líneas adicionales (EDAR 5).

3.2. CORRELACIONES DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

En la **Tabla 4** se muestran las correlaciones de Pearson entre los diferentes parámetros seleccionados. Se puede observar que hay una buena correlación (valores que van de 0,59 a 0,63, indicados en rojo) entre dos grupos de diferentes parámetros: el primer grupo sería la turbidez con DBO₅ y MES; y el segundo la concentración de amonio y DBO₅ del efluente.

FIGURA 3. Rendimiento de eliminación del logaritmo *E.coli*.

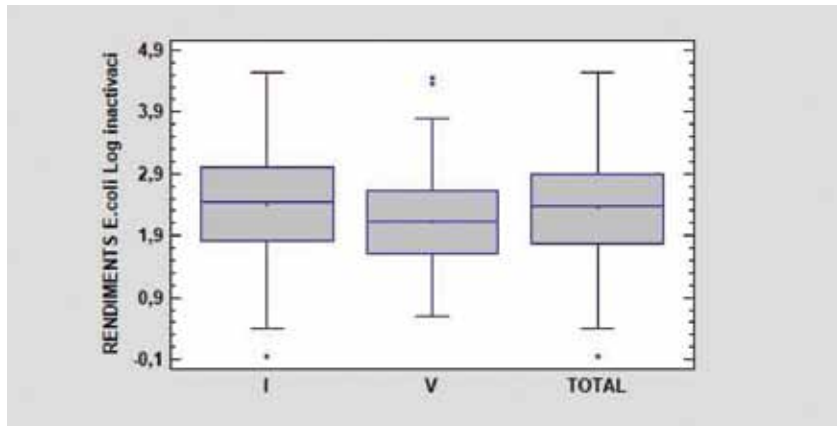


FIGURA 4. Concentración de *E.coli* en las EDAR.

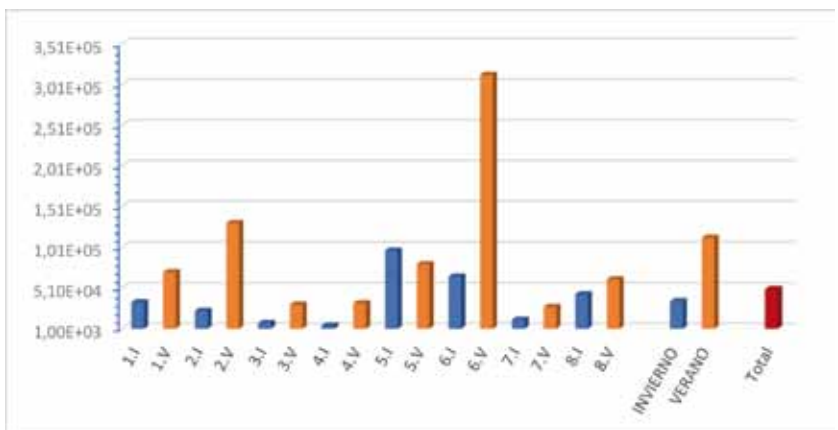
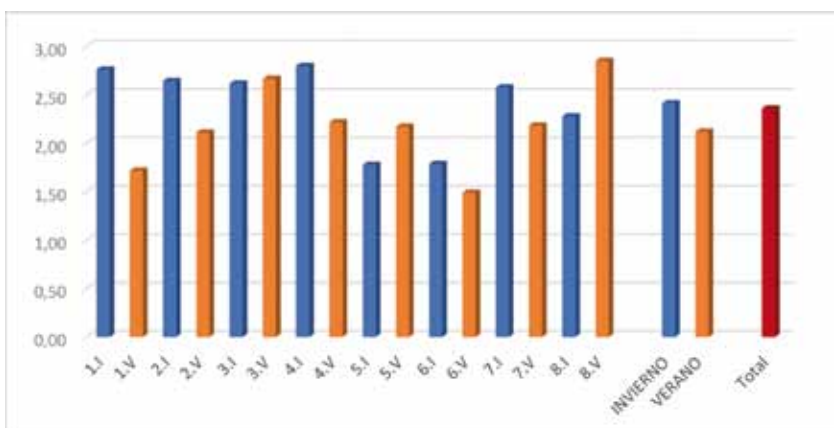


FIGURA 5. Rendimientos de eliminación del logaritmo *E.coli*.



En menor fuerza de correlación (valores indicados en naranja) se podrían asociar otros parámetros en diferentes grupos: el primer grupo, turbidez con logaritmo de *E. coli* (0,42); el segundo, DBO₅ con *E. coli*, logaritmo de *E. coli* y MES (entre

0,41 y 0,42); el tercero, amonio del efluente y el logaritmo de *E. coli* (0,46); y cuarto y último grupo, el rendimiento de eliminación de amonio con el rendimiento de logaritmo de *E. coli* (0,42), *E. coli* del efluente (-0,40), logaritmo de *E. coli* del

TABLA 4

CORELACIONES DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS ANALIZADOS.

Parámetros	<i>E. coli</i> secundario	Log10 (<i>E. coli</i> secundario)	Rendimiento inactivación Log10 (<i>E. coli</i>)	MES	MES rendimiento	Turbidez	DBO ₅	DBO ₅ rendimiento	N-NH ₄	Rendimiento amonio (%)
<i>E. coli</i> secundario		0,59 390 0	-0,51 385 0	0,23 206 0,001	-0,05 378 0,331	0,33 295 0	0,42 194 0	-0,1 379 0,049	0,36 182 0	-0,4 361 0
Log10 (<i>E. coli</i> secundario)	0,59 390 0		-0,86 385 0	0,26 206 0	-0,07 378 0,181	0,42 295 0	0,4 194 0	-0,11 379 0,028	0,46 182 0	-0,41 361 0
Rendimiento inactivación Log10 (<i>E. coli</i>)	-0,51 385 0	-0,86 385 0		-0,15 203 0,028	0,1 373 0,045	-0,33 290 0	-0,3 191 0	0,23 374 0	-0,37 179 0	0,42 356 0
MES	0,23 206 0,001	0,26 206 0	-0,15 203 0,028		-0,32 214 0	0,61 195 0	0,41 200 0	-0,07 214 0,298	0,26 188 0	-0,24 206 0,001
MES rendimiento	-0,05 378 0,331	-0,07 378 0,181	0,1 373 0,045	-0,32 214 0		-0,25 299 0	-0,04 202 0,545	-0,04 396 0,412	0,03 190 0,657	0,09 372 0,081
Turbidez	0,33 295 0	0,42 295 0	-0,33 290 0	0,61 195 0	-0,25 299 0		0,59 186 0	-0,25 300 0	0,3 173 0	-0,31 283 0
DBO ₅	0,42 194 0	0,4 194 0	-0,3 191 0	0,41 200 0	-0,04 202 0,545	0,59 186 0		-0,25 202 0	0,63 188 0	-0,48 194 0
DBO ₅ rendimiento	-0,1 379 0,049	-0,11 379 0,028	0,23 374 0	-0,07 214 0,298	-0,04 396 0,412	-0,25 300 0	-0,25 202 0		-0,02 190 0,804	0,22 373 0
N-NH ₄	0,36 182 0	0,46 182 0	-0,37 179 0	0,26 188 0	0,03 190 0,657	0,3 173 0	0,63 188 0	-0,02 190 0,804		-0,84 187 0
Rendimiento amonio (%)	-0,4 361 0	-0,41 361 0	0,42 356 0	-0,24 206 0,001	0,09 372 0,081	-0,31 283 0	-0,48 194 0	0,22 373 0	-0,84 187 0	

efluente (-0,41) y DBO₅ (-0,48). Se observaría que todos estos parámetros estarían interconectados.

3.3 CORRELACIONES DE LOS PARÁMETROS DE PROCESO

Se ha evaluado la concentración de *E. coli* y el rendimiento de eliminación de esta bacteria con diferentes parámetros de proceso: Cm, TRH y TRC, como se refleja en la **Tabla 5**. Se observan correlaciones positivas entre el TRH con el rendimiento de eliminación del logaritmo de *E. coli* y con la edad del fango que están en 0,30 y 0,28 respectivamente. Se constata con datos que hay más eli-

minación de *E. coli* con tiempos de retención hídricos y edades de fango mayores. Así mismo, en esta **Tabla 5** también se representan las correlaciones negativas entre la carga másica con el TRH (-0,39) y con TRC (-0,21). Estos resultados reflejan que a menor carga másica mayor TRH y TRC.

4. CONCLUSIONES

En este estudio lo primero que hay que remarcar es que los datos utilizados de *E. coli* son de 8 EDAR reales, no plantas pilotos, diferentes entre sí, con una duración de 4 años y casi 400 datos recopilados.

En los resultados descriptivos de las estaciones depuradoras estudiadas se observa que el promedio en la concentración de *E. coli* del influente está en orden de magnitud de 10⁶, el efluente de 10⁴ y el promedio del rendimiento de eliminación del logaritmo de *E. coli* es de 2,4.

En los períodos establecidos de verano e invierno se observa que en verano aumenta la concentración de *E. coli* en la entrada y en la salida globalmente, mientras que el rendimiento de eliminación del logaritmo de *E. coli* es mayor en invierno que en verano.



TABLA 5

COORELACIONES POSITIVAS ENTRE *E.COLI*, TRH Y TRC.

Parámetros	<i>E. coli</i> secundario	Rendimiento inactivación Log10 (<i>E. coli</i>)	Cm	TRH	TRC
<i>E. coli</i> secundario		-0,51 385 0	0,06 189 0,446	-0,13 390 0,01	-0,07 160 0,378
Rendimiento inactivación Log10 (<i>E. coli</i>)	-0,51 385 0		-0,11 186 0,125	0,30 385 0	0,14 157 0,086
Cm	0,06 189 0,446	-0,11 186 0,125		-0,39 197 0	-0,21 167 0,007
TRH	-0,13 390 0,01	0,30 385 0	-0,39 197 0		0,28 168 0
TRC	-0,07 160 0,378	0,14 157 0,086	-0,21 167 0,007	0,28 168 0	

Estudiando los datos de concentración de *E. coli* del efluente por EDAR y por períodos establecidos, se observa que en la mayoría de los casos se sigue la tendencia global, a excepción de la EDAR 5, que el efluente es ligeramente mejor en verano que en invierno.

Analizando el rendimiento de eliminación del logaritmo de *E. coli* con los periodos establecidos, se observa que la tendencia es igual a la global con la excepción de 3 EDAR, en las que se aprecia mayor elimina-

ción en verano que en invierno. Esto es debido al diseño, la capacidad de aireación y la disponibilidad de líneas adicionales.

Los coeficientes de correlación de Pearson para los parámetros físico-químicos ponen de manifiesto que hay:

- Correlación positiva elevada entre turbidez con MES y DBO₅, y entre amonio del efluente con DBO₅.
- Correlación positiva destacable entre logaritmo de *E. coli* con tur-

bidez, DBO₅ y amonio del efluente; entre DBO₅ con concentración de *E. coli* y MES; y entre el rendimiento de la concentración de *E. coli* y el rendimiento amonio.

- Correlación negativa destacable entre el rendimiento de amonio con la concentración de *E. coli* efluente, el logaritmo de *E. coli* del efluente y la DBO₅.

Las correlaciones de Pearson encontradas con relación a los parámetros de proceso se pueden separar en:

- Positivas, cuando se relaciona el TRH con el rendimiento de *E. coli* y TRC.

- Negativas, cuando se vinculan la Cm con TRH y TRC.


5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consocio de la Costa Brava por el apoyo que presta a EMACBSA en los proyectos de I+D que se llevan a cabo.

Bibliografía

[1] Apha, Awwa, Wpcf. (1992). Métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz Santos, S.A., 17ª edición. Referencia 9222.

[2] Directiva 91/271/CEE, sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas.

[3] RD 1620/2007 (2007). Boletín Oficial Español, núm 294. Ministerio de la Presidencia. 

» En los resultados de las estaciones depuradoras estudiadas se observa que el promedio en la concentración de *E. coli* del influente está en orden de magnitud de 10⁶, el efluente de 10⁴ y el promedio del rendimiento de eliminación del logaritmo de *E. coli* es de 2,4

» En los períodos establecidos a lo largo del año se observa que en verano aumenta la concentración de *E. coli* en la entrada y en la salida, mientras que el rendimiento de eliminación del logaritmo de *E. coli* es mayor en invierno que en verano. Esto se debe al diseño, la capacidad de aireación y la disponibilidad de líneas adicionales