



Estudio de la presencia de contaminantes emergentes en las distintas etapas de las depuradoras

Pedro J. Simón Andreu¹, Carlos Lardín Mifsut², Raquel González Herrero³, Antonio V. Sánchez Betrán⁴, Juan Antonio Vicente González⁵
^{1,2} **ESAMUR** | www.esamur.com ■ ^{3,4,5} **RED CONTROL** | www.redcontrol.com



El estudio de los contaminantes emergentes presentes en las aguas residuales, así como su tratamiento y eliminación de las mismas están siendo objeto de una gran atención en los últimos tiempos, especialmente debido a su ubicua presencia en todo tipo de aguas y sus posibles repercusiones sobre el medio ambiente. Los contaminantes emergentes son un tipo de contaminantes orgánicos que son introducidos en el medio ambiente, principalmente el medio acuático terrestre y marino, en grandes canti-

dades. Entre ellos podemos destacar residuos farmacéuticos y fármacos, hormonas, detergentes, productos fitosanitarios, productos de higiene personal (protectores solares, fragancias), estimulantes como la cafeína, etc...

Un aspecto a estudiar sobre estos contaminantes es su grado de eliminación en los procesos de depuración de aguas residuales actualmente utilizados. Con el presente estudio se pretende conocer el comportamiento de una serie de contaminantes emergentes y unos indicadores de contaminación mi-

crobiológica a lo largo de las diferentes fases del sistema de tratamiento de estaciones depuradoras de aguas residuales mediante fangos activos.

ANTECEDENTES

En la práctica totalidad de las aguas residuales tanto de origen urbano, como industrial, están presentes diferentes contaminantes emergentes en concentraciones variables, dependiendo de las actividades que se den en la zona de origen de dichas aguas. Estos contaminan-

Contaminante	Grupo	Contaminante	Grupo
Acetaminofeno (Paracetamol)	Analgésico	Enrofloxacina	Antibiótico veterinario
Acetamiprid	Insecticida	Eritromicina	Antibiótico
Cafeína	Estimulante	Ofloxacina	Antibiótico
Carbamazepina	Uso psiquiátrico	Tiabendazol	Fungicida
Claritomicina	Antibiótico	Trimetoprim	Antibiótico
Diclofenac	Antiinflamatorio (se incluirá en la primera)	E.coli	Bacteria indicativa de contaminación fecal
		Salmonella	Bacteria indicativa de contaminación fecal

tes van desde fármacos, hasta fitosanitarios, sustancias de origen industrial.

Recientemente, diferentes administraciones están empezando a limitar la presencia de algunos de ellos, si bien se desconoce en gran medida los efectos causados por gran parte de ellos o su abundancia en el medio. Así, en la Directiva 2013/39/UE ya se incluye una tabla en la que se identifican una serie de contaminantes emergentes como sustancias prioritarias e incluso establece límites de emisión para algunos de ellos.

Con el presente estudio se pretende comprobar el efecto de las diferentes fases de procesos depurativos mediante fangos activos sobre algunos contaminantes emergentes habituales, estudiando las diferentes fases de las EDARs para ver su presencia y concentraciones en cada una de ellas.

El estudio se ha llevado a cabo en cuatro depuradoras integrantes de la zona Levante de la región de Murcia: Abanilla, Beniel, Fortuna y Santomera. Todas estas plantas tienen sistemas de tratamiento mediante fangos activos en aireación prolongada, con deshidratación mecánica del fango producido.

Listado de contaminantes emergentes estudiados

En la tabla superior se listan los contaminantes emergentes y parámetros microbiológicos analizados en el estudio.

Depuradoras empleadas para el estudio

El estudio presentado se ha realizado en las líneas de tratamiento de cuatro depuradoras de la Región de Murcia. A continuación detallamos las principales características de cada una de ellas.

Abanilla

La EDAR de Abanilla es una planta de aireación prolongada mediante fangos activos, con un caudal de proyecto de 1.500 m³/día y una carga influente de diseño de 12.500 h.e.

La EDAR dispone de un pretratamiento con desbaste mediante cuchara

bivalva y reja automática, tamizado y desarenado desengrasado. El tratamiento biológico se realiza en un reactor tipo carrusel aireado con dos oxirrotadores controlados de forma automática mediante potencial Redox. Dispone a su vez de dos decantadores circulares troncocónicos, dotados de carro-puente móvil. El tratamiento terciario se realiza mediante dos filtros de arena abiertos, y la desinfección del efluente por luz ultravioleta. El tratamiento de los lodos consiste en espesamiento y deshidratación mecánica mediante dos decantadores centrífugos.

El efluente tratado es vertido a balsa de acumulación para su posterior reutilización para riego agrícola.

Beniel

La EDAR de Beniel consiste en un sistema mediante aireación prolongada por fangos activos, con una caudal de proyecto de 5.000 m³/día y una carga influente de diseño de 54.167 h.e.

La EDAR consta de un pretratamiento compuesto por una reja de gruesos seguida de un tamizado y una etapa posterior de desarenado-desengrasado, seguido por un tratamiento biológico formado dos reactores biológicos tipo carrusel aireados por medio de



soplantes y controladas de forma automática mediante sondas amonio-nitrato y seguido de dos decantadores secundarios. El tratamiento terciario consiste en dos decantadores lamelares y dos filtros de arena. Además dispone de desinfección mediante un canal de lámparas ultravioleta. El tratamiento de lodos se fundamenta en un espesador por gravedad y dos centrifugas mecánicas.

El efluente vertido se emplea en su totalidad para riego agrícola.

Fortuna

La planta de Fortuna consiste en un sistema de aireación prolongada mediante fangos activos, con un caudal de proyecto de 2.500 m³/día y una carga influente de 21.000 h.e.

La depuradora dispone de un pretratamiento, seguido por dos reactores tipo carrusel aireados por medio de soplantes y controladas de forma automática mediante sondas oxígeno, decantación secundaria mediante dos decantadores circulares y tratamiento terciario. Además dispone de desinfección mediante lámparas ultravioletas. Para el tratamiento de lodos dispone de un espesador circular y deshidratación mecánica mediante un decantador centrífugo.

El efluente tratado se vierte a una balsa para su posterior uso para riego agrícola.

Santomera

La depuradora de Santomera se trata una planta de aireación prolongada de fangos activos mediante sistema Orbal, con un caudal de proyecto de 6.000 m³/día y una carga influente de 27.000 h.e.

La EDAR dispone de un pretratamiento con reja de finos, seguida de un sistema de rototamices y un desarenado-desengrasado. Para el tratamiento biológico dispone de 3 reactores de tipo

Tabla 2. Datos relativos al tratamiento secundario				
	Fortuna	Beniel	Santomera	Abanilla
TRH biológico (horas)	59,06	48,00	38,00	53,55
SSLML biológico (mg/l)	2.670,00	2.136,00	4.100,00	4.200,00
SSVLM biológico (%)	78,00	69,00	74,00	78,00
V. Ascensional dec. 2º (m ² /m ² .h)	0,25	0,38	0,81	0,21

Tabla 3. Datos relativos a los espesadores de lodos				
	Fortuna	Beniel	Santomera	Abanilla
TRH espesadores (horas)	11,49	52,00	25,00	80,80
Carga sobre vertedero (m ³ /m)	1,04	5,09	1,79	1,20
Concentración fango espesado (%)	1,68	3,27	2,50	3,25

Tabla 4. Datos relativos a las centrifugas de deshidratación de lodos				
	Fortuna	Beniel	Santomera	Abanilla
Sequedad obtenida (%)	14,70	19,00	17,60	16,40
Volátiles (%)	71,00	67,40	64,60	62,80

Orbal aireados por oxirrotadores y controlados de forma automática mediante sondas de amonio-nitrato. A continuación presenta 4 decantadores secundario y un tratamiento terciario constituido por un filtro textil (Mecana) y desinfección ultravioleta. El tratamiento de lodos está formado por 2 espesadores por gravedad y la deshidratación mecánica mediante 2 decantadores centrífugos. El efluente es destinado a riego agrícola.

Parámetros de explotación de las depuradoras objeto de estudio

En las tablas 2, 3 y 4 hacemos un resumen comparativo de los principales parámetros de explotación de las depuradoras objeto de estudio durante la duración del mismo.

Características de los influentes recibidos en las diferentes EDAR estudiadas

A continuación se comentan las características generales de los influentes de cada una de las depuradoras en las que se realiza el estudio.

Abanilla

El municipio de Abanilla tiene una población censada de 3.250 habitantes, con 6.420 habitantes equivalentes.

La procedencia del influente es de origen tanto industrial como urbano.

El vertido con origen urbano puede estar influenciado por la presencia en el pueblo de una institución geriátrica y de una instalación hospitalaria.

En lo que se refiere a la actividad in-

dustrial, en la zona hay empresas de la industria alimentaria de productos hortofrutícolas y una empresa de fabricación de grasas con origen animal, cuya materia prima son restos de origen animal procedentes de mataderos.

Beniel

En el caso del municipio de Beniel la población censada es de 10.933 habitantes, siendo la población de habitantes equivalentes de 13.456.

Los focos industriales que podrían afectar a los vertidos son almacenes de cítricos, una granja avícola, un matadero de pollos y una industria química que fabrica principios activos farmacéuticos y alimenticios.

Fortuna

El municipio de Fortuna tiene una población censada de 10.925 habitantes.

La población de habitantes equivalentes es de 21.000.

En Fortuna hay una empresa hortofrutícola, además de la limpieza y troceado de los productos, también elabora conservas vegetales.

Además existe una pedanía, caracterizada por tener aguas termales donde existen varios establecimientos balnearios, con un uso mayoritario de personas de edad avanzada, así como un número elevado de residentes extranjeros principalmente pensionistas.

También hay bastante agricultura, principalmente cultivo de agrios.

Santomera

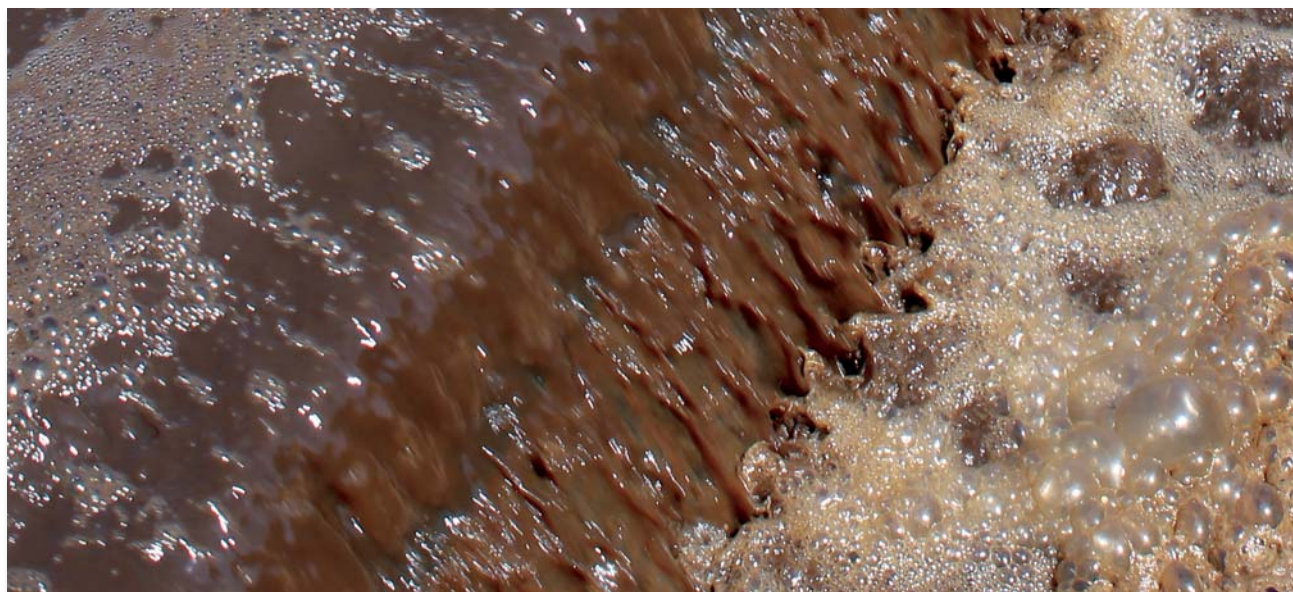
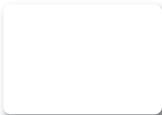
Por último, el municipio de Santomera tiene una población censada de 15.709 habitantes y una población de habitantes equivalentes de 27.300.

En Santomera hay varias empresas de procesado de cítricos, así como una granja de ganado porcino. También hay varias empresas dedicadas a la elaboración de recubrimientos metálicos.

MATERIAL Y MÉTODOS

En cada depuradora se realizaron cuatro campañas de muestro con carácter quincenal, obteniendo una muestra simple de los siguientes procesos:

Publicidad



- Influyente
- Efluente
- Fango de aireación o licor mezcla
- Fango espesado
- Sobrenadante del espesador
- Fango deshidratado
- Ecurrido equipo de deshidratación (centrífugas).

Las técnicas analíticas seguidas han sido las siguientes:

Análisis de los contaminantes emergentes

La técnica seguida para la determinación de los contaminantes emergentes en aguas y fangos ha sido mediante HPLC/MS/MS con enriquecimiento online

- Las muestras líquidas se analizan por inyección directa de la muestra filtrada.

- En el caso de los fangos, los contaminantes se extraen mediante la técnica QuEChERS (acrónimo en inglés de Quick Easy Cheap Effective Rugged Safe [rápido, fácil, económico, eficaz, sólido y seguro]) que consiste en una primera parte de extracción de la muestra con acetonitrilo y una posterior purificación mediante SPE dispersiva mediante PSA (mezcla de amina primaria y secundaria).

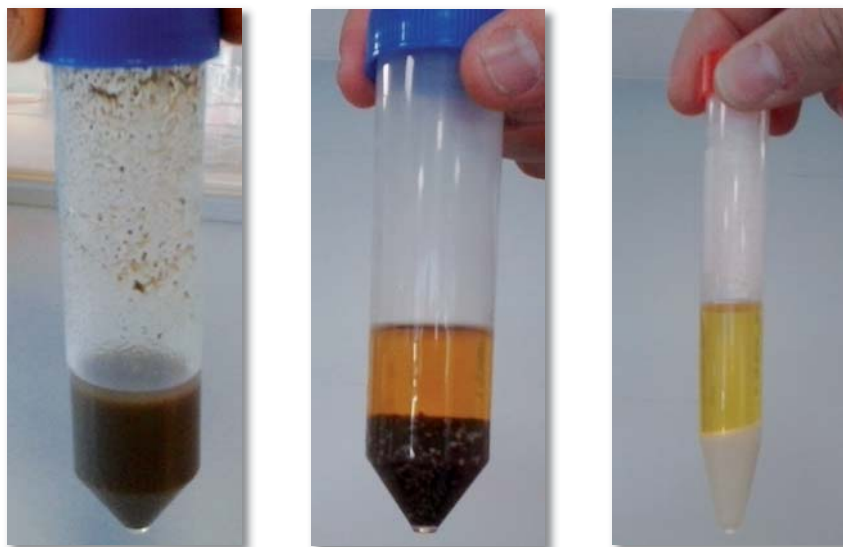
En ambos casos inyectamos en un sistema de preconcentración online (extracción en fase sólida) acoplado a un cromatógrafo de líquidos con detector de masas triple cuadrupolo modelo 6410 Agilent.

Para el análisis se ha empleado un cromatógrafo de líquidos/masas Agilent 6410 Triple Quad LC/MS equipado con sistema de válvulas y bomba auxiliar para la preconcentración online de las muestras.

Una vez finalizada la secuencia de análisis se procede a la cuantificación de las muestras mediante el programa informático MassHunter de Agilent.

Análisis de los parámetros microbiológicos

Para los análisis de parámetros mi-



De izq. a der.: Muestra de fango disuelta en acetonitrilo, muestra con acetonitrilo tras centrifugación y muestra tras purificación con SPE dispersiva mediante PSA



Cromatógrafo de líquidos/masas Agilent 6410 Triple Quad LC/MS



Pantalla correspondiente al programa MassHunter

crobiológicos, en el caso de las muestras líquidas de fangos se realizó una filtración previa, analizando posteriormente el escurrido obtenido.

En el caso de los fangos deshidratados, se disolvió una muestra de fango en agua de peptona en proporción 1:10.

En todos los casos, la sistemática seguida fue la siguiente:

El ensayo de *E. coli* se realiza por la técnica de filtración por membrana en el medio de cultivo TBX Agar y se incubaba a 44°C (+/-1°C) durante 18-24h. Posteriormente se hace un recuento de las colonias verde-azuladas crecidas en el filtro y se confirman realizando el test de la oxidasa, el test de la fermentación de la lactosa, la prueba del indol y la tira bioquímica API 20E.

El ensayo de *Salmonella* se lleva a cabo en diferentes etapas:

El ensayo de *Salmonella* se lleva a cabo en diferentes etapas:

1. Filtración: se filtra por membrana 1 litro de muestra.
2. Fase de Preenriquecimiento: En Agua de peptona y se incubaba a 36°C (+/-2°C) durante 18-24h.
3. Fase de Enriquecimiento en medios líquidos selectivos: En el medio Rappaport Vassiliadis y se incubaba a 44°C (+/-1°C) durante 18-24h y en el medio Selenito cistina y se incubaba a 36°C (+/-1°C) durante 18-24h.
4. Fase de Aislamiento en medios sólidos selectivos: En los medios Hek-

toen y Rambach y se incubaban a 37°C (+/-1°C) durante 24-48h.

5. Confirmación: Las colonias presuntivas se confirman con el test de la oxidasa y la tira bioquímica API 20E.

En ambos casos, el conteo de las colonias se ha realizado de forma automatizada por medio de un contador de colonias Protocol-2, el cual funciona mediante identificación por visión artificial.

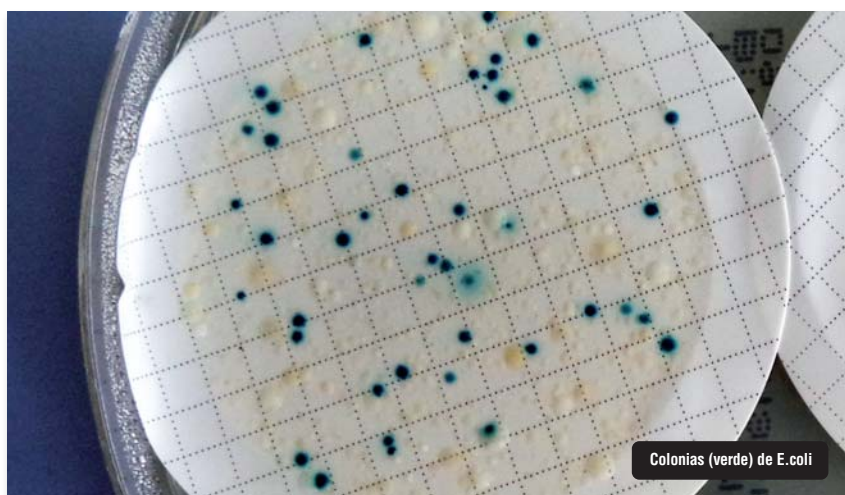
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dado el gran volumen de datos analíticos obtenidos y con la finalidad de clarificar los resultados obtenidos, se realiza un promedio para cada uno de los parámetros analizados entre los cuatro muestreos realizados en cada instalación. a continuación mostramos los resultados de concentración de los contaminantes emergentes en cada una de las matrices estudiadas en cada depuradora.

Del mismo modo, en las tablas de la página siguiente presentamos los resultados medios obtenidos para los parámetros microbiológicos (*E.coli* y *Salmonella*) en las matrices estudiadas.

CONCLUSIONES

- De los compuestos estudiados, y se-



Colonias (verde) de *E.coli*



gún los datos que disponemos, hay dos que no se absorben y no se encuentran en los fangos:

- Enrofloxacin
- Ofloxacin
- Tan solo hay uno que se haya demostrado como totalmente biodegradable, siendo eliminado en el proceso depurativo:
 - Acetaminofeno (=Paracetamol)
- Del resto, hay otra serie de compuestos que se retiran de la línea de aguas en mayor o menor grado, absorbiéndose y acumulándose en la fase sólida de los lodos, aunque quedan trazas de algunos de ellos en la fase acuosa:
 - Cafeína
 - Carbamazepina
 - Claritomicina
 - Diclofenac (*)
 - Tiabendazol

De estos, el Diclofenac es el que ha aparecido en las listas de observación de la nueva directiva europea 2013/39/UE, por lo que sería interesante el estudio de un tratamiento para su eliminación.

• Por último, hay una serie de compuestos que no aparecen o lo hacen de forma esporádica y en concentraciones muy bajas:

- Acetamidrid
- Trimetoprim
- Eritromicina
- En lo que se refiere a los parámetros microbiológicos estudiados (E.coli y Salmonella), se aprecia que en todos los muestreos los sistemas de desinfección son eficaces, eliminándolos de los efluentes estudiados.

No obstante, ambas bacterias aparecen en diferentes concentraciones en todas las fases intermedias, así como en los fangos deshidratados. Respecto a estos últimos y su reutilización en el sector agrícola, en el 4º borrador de la Directiva Europea 86/278/CEE, se propone, entre otros límites, la ausencia de E.coli y Salmonella, por lo que se deberían estudiar opciones para su higienización.

Por último destacar que los contaminantes también son indicadores del origen de los influentes a las EDARs,

apareciendo en función de los vertidos recibidos en las redes de saneamiento.

- Así, compuestos como Acetaminofeno (=Paracetamol), Cafeína o el antibiótico de amplio espectro Ofloxacin son abundantes en todos los influentes, indicadores de su amplio uso.
- Compuestos como Claritomicina (antibiótico) o Diclofenac (antinflamatorio) abundan en los influentes y fangos de las EDARs de Abanilla y Fortuna, poblaciones que se caracterizan por tener una significativa población geriátrica, tal y como se detalla en el punto 1.2.
- Enrofloxacin, antibiótico de uso veterinario detectado en casi todos los procesos de la EDAR de Santomera y que podría ser indicativo de vertidos procedentes de la granja de ganado porcino existente en el municipio.
- Tiabendazol, fungicida empleado en la industria hortofrutícola y presente en las EDARs de Abanilla y Santomera, ambas con importante presencia de empresas de este sector.



Acetaminofeno	influyente (ug/l)	efluente (ug/l)	fango aireación (ug/l)	fango espesado (ug/l)	sobrenadante espesador (ug/l)	escurrido centrifuga (ug/l)
Abanilla	38,350	0,000	0,000	0,283	0,000	0,154
Beniel	21,525	0,000	0,000	0,000	0,000	0,099
Fortuna	105,353	0,000	0,000	0,453	0,000	0,205
Santomera	4,860	0,000	0,213	0,000	0,212	0,000
Acetamiprid						
Abanilla	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Beniel	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fortuna	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Santomera	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cafeina						
Abanilla	55,500	0,452	0,000	0,000	0,070	0,062
Beniel	17,479	0,101	0,000	0,000	0,075	0,120
Fortuna	67,070	0,016	0,000	0,000	0,000	0,122
Santomera	26,550	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Carbamazepina						
Abanilla	0,055	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000
Beniel	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fortuna	0,063	0,087	0,000	0,000	0,133	0,110
Santomera	0,013	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000
Claritromicina						
Abanilla	0,619	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000
Beniel	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fortuna	0,140	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000
Santomera	0,044	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diclofenac						
Abanilla	1,047	0,090	0,197	0,194	0,614	0,607
Beniel	0,319	0,137	0,007	0,071	0,284	0,265
Fortuna	1,028	0,271	0,190	0,152	0,755	0,649
Santomera	0,449	0,181	0,314	0,081	0,389	0,335
Enrofloxacin						
Abanilla	0,000	0,000	0,000	0,000	0,059	0,000
Beniel	0,013	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000
Fortuna	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Santomera	0,146	0,182	0,129	0,000	0,106	0,257
Eritromicina						
Abanilla	0,300	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Beniel	0,013	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000
Fortuna	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Santomera	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ofloxacin						
Abanilla	1,970	1,232	0,611	1,410	1,948	4,238
Beniel	0,874	0,798	0,317	0,635	1,334	3,003
Fortuna	1,538	0,643	0,563	1,008	1,530	4,471
Santomera	1,611	2,273	2,238	0,890	1,549	4,015
Tiabendazol						
Abanilla	0,404	18,830	3,391	22,120	20,308	20,968
Beniel	0,141	0,223	0,031	0,241	0,439	0,467
Fortuna	0,028	0,014	0,000	0,000	0,043	0,068
Santomera	3,833	3,625	1,755	4,430	3,948	7,988
Trimetoprim						
Abanilla	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Beniel	0,091	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fortuna	0,027	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000
Santomera	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

E.coli (ufc/100ml)	influyente	efluente	fango aireación	fango espesado	sobrenadante espesador	fango deshidratado	escurrido centrifuga
Abanilla	8,93E+06	0,00E+00	8,55E+03	3,98E+03	1,35E+05	3,70E+03	7,25E+03
Beniel	2,18E+06	1,43E+02	1,06E+03	5,18E+03	1,94E+04	3,59E+04	1,88E+04
Fortuna	1,20E+07	0,00E+00	2,73E+03	1,28E+04	2,15E+04	5,18E+04	3,63E+05
Santomera	1,06E+06	6,00E+00	5,68E+03	3,93E+03	1,62E+04	9,75E+03	3,45E+03
Salmonella (presencia/1l o 25g)							
Abanilla	1	0	1	1	1	1	0
Beniel	1	0	1	0	1	1	1
Fortuna	1	0	1	1	1	1	1
Santomera	1	0	1	0	1	1	1