

Metodología empleada en el diseño de tecnologías de tratamiento de las aguas residuales de la producción de diversos medicamentos

Caridad Ramos Alvariño y Alexis Pellón Arrechea.

Dpto. de Estudios sobre Contaminación Ambiental, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Avenida 25 y Calle 158, Playa, Apartado Postal 6414, Ciudad de La Habana, Cuba.

Recibido: 20 de julio de 2004. Aceptado: 4 de julio de 2005.

Palabras clave: aguas residuales, aguas residuales de planta de tratamiento, medicamentos, tratamientos.
Key words: waste waters, treatment, pharmaceutical industry, sewage treatment plant.

RESUMEN. Por la variedad de procesos, operaciones, materias primas y materiales, entre otros, que están presentes en un centro o empresa productor de medicamentos, se evidencia que no se puede contar con una tecnología de tratamiento única para las aguas residuales de estas producciones, que sea eficiente debido a la elevada variabilidad de la composición de sus vertimientos. En el Departamento de Estudios sobre Contaminación Ambiental, durante más de 14 años, se ha trabajado en el desarrollo de soluciones tecnológicas para diferentes centros productores de medicamentos, definiéndose las etapas de trabajo que permitieron conducir al diseño de la planta de tratamiento para cada caso en particular. La experiencia alcanzada se consideró que pudiera ser útil para especialistas, que tengan que afrontar la caracterización y tratamiento de las aguas residuales. El objetivo de este trabajo fue establecer una metodología, que facilite el desarrollo de tecnologías de tratamiento para los residuos líquidos generados en centros productores de medicamentos. Con la metodología se pudo obtener de forma eficiente las tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales en etapas de construcción, remodelación o ampliación. Ha servido, además, de base para el desarrollo de las tareas técnicas, incluidas en la documentación de licencias ambientales otorgadas por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Ha contribuido a la dimensión ambiental más favorable en cada empresa. La aplicación de esta metodología permitirá definir, a otros laboratorios o centros, la solución tecnológica o el tratamiento para sus vertimientos.

ABSTRACT. For the variety of processes, operations, raw materials and materials, among others that are present in an institute or company producing medications, it is evidenced that it cannot have unique treatment technology for the waste waters of these productions that is efficient due to the high variability of the composition of their discharge. In the Department of Studies about Environmental Pollution, during 14 years, it has worked in the development of technological solutions for different institutes producing medications, the working stages that allowed to drive in particular the design of the treatment plant for each case being defined. The reached experience was considered that it can be useful for researchers, designers, technologists, planners, investors, directors, among other specialists that have to confront the characterization and treatment of the waste waters of an institute producing medications. The objective of this work was to establish a methodology that facilitates the development of the technologies of treatments, for the liquid residuals generated in companies producing medications. With the methodology one could obtain in an efficient way the technology for the treatment of the wastewaters of diverse companies or laboratories producing medications, in construction stages, remodeling or amplification. This has served as a base for the development of the technical tasks, included in the documentation of granted environmental licenses for Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente from Cuba. It has contributed to the most environmental situation in each company. The application of this methodology will allow to define the technological solution or the treatment for its discharge to other laboratories or companies.

INTRODUCCION

En la industria farmacéutica se utiliza el agua para muchos fines diferentes: como medio de limpieza, disolvente, para refrigerar y para uso general. Entre estas aguas hay que distinguir las que se encuentran limpias y las que no. De esta forma, sólo las últimas habrían de ser tratadas. La composición de los vertimientos varía mucho en función de los procesos de obtención efectuados. En general, contienen restos de disolventes orgánicos, de materias primas y auxiliares y de principios activos. Las causas principales de la presencia de principios activos en los efluentes líquidos suelen estar en las separaciones sólido-líquido y líquido-líquido, durante su purificación y aislamiento y en las operaciones de limpieza. Entre las sustancias potencialmente contaminantes que con frecuencia se presentan se tienen: compuestos orgánicos alifáticos o aromáticos, organohalogenados, metales pesados, cianuros, compuestos de nitrógeno-fósforo, ácidos y bases, materia orgánica de origen biológico y compuestos organometálicos. El uso de cantidades considerables de disolventes orgánicos es habitual dentro de la industria farmacéutica de base. Los antibióticos constituyen uno de los grupos de compuestos farmacéuticos que se han encontrado en lagos y corrientes a través del mundo, la presencia de estos compuestos en el ambiente ha aumentado la toxicidad de los organismos acuáticos y la presencia de

especies de bacterias con resistencia antibiótica.³ Dentro de las materias primas de uso farmacéutico se encuentran los principios activos terapéuticos, los productos intermedios y los excipientes o sustancias auxiliares. Los contaminantes generados en la fabricación de principios activos tienen un impacto ambiental muy diferente de una industria a otra, ya que son específicos de los procesos utilizados y de la naturaleza de los productos fabricados en cada instalación industrial. Por otra parte, hay que tener siempre en cuenta que la mayoría de las instalaciones también se dedican a la formulación, por lo que no siempre es fácil distinguir qué porción de los residuos y emisiones generados corresponde a cada actividad, si bien el mayor potencial contaminante se encuentra del lado de la fabricación de los principios activos.²

En los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de hospitales y en los lugares de descarga en mares cercanos se han detectado diferentes fármacos como: analgésicos, beta bloqueadores y antidepresivos, así como la cafeína, un anti-bacteriano y un repelente de insectos.⁴

En las unidades de una planta de tratamiento se han detectado diferentes medicamentos (11) entre ellos tres hormonas. El tratamiento aeróbico (lodos activados) causó una reducción importante en todos los compuestos, entre el 35 y el 75 %, con la excepción de iopromide que permanecía en la fase acuosa. Las eficacias de los tratamientos globales dentro de la planta de tratamiento fueron del 70 al 90 % para las fragancias, del 40 al 65 % para los anti-inflamatorios, alrededor del 65 % para el 17-estradiol y del 60 % para el sulfametoxazol. Sin embargo, la concentración de teelina aumentó a lo largo del tratamiento debido a la oxidación parcial del 17-estradiol en el tanque de aeración.⁵

Las aguas residuales de una compañía productora de productos químicos y farmacéuticos se descargan sin tratamiento a una laguna de evaporación cercana. El análisis de las aguas residuales combinadas indicaron que son muy ácidas, y contienen concentraciones elevadas de compuestos orgánicos y sólidos totales. Se hizo necesario la reducción de los contaminantes de las aguas residuales para la protección del ambiente, en particular, de las fuentes hídricas. Se sometieron a diferentes procesos de tratamiento para su disposición

final en las aguas o se emplearon (reuso) con propósitos de irrigación. Los estudios de factibilidad técnica indicaron que la buena calidad del agua tratada se puede garantizar empleando la aereación extendida (durante 20 h de aereación) o el reactor de película fija aerobio seguido por un lodo activado (con 11 h de tiempo de retención). Las concentraciones de la DBO, DQO y las grasas y aceites en el agua tratada cumplen con las regulaciones nacionales normalizadas⁶

Por todo lo anterior, se evidencia que no se puede contar con una tecnología de tratamiento única para las aguas residuales de la producción de medicamentos, que sea eficiente debido a la elevada variabilidad de la composición de sus vertimientos. En el Departamento de Estudios sobre Contaminación Ambiental (DECA) del Centro Nacional de Investigaciones Científicas, durante más de 14 años, se ha trabajado en el desarrollo de soluciones tecnológicas para diferentes centros productores de medicamentos, definiéndose las etapas de trabajo que permitieron conducir al diseño de la planta de tratamiento para cada caso en particular. La experiencia alcanzada se consideró que pudiera ser útil para investigadores, diseñadores, tecnólogos, proyectistas, inversionistas, directivos, entre otros especialistas, que tuviese que afrontar la caracterización y tratamiento de las aguas residuales de un centro productor de medicamentos.

El objetivo de este trabajo fue establecer una metodología, que facilite el desarrollo de tecnologías de tratamiento para los residuos líquidos generados en centros productores de medicamentos.

Metodología empleada

Datos primarios

La metodología de trabajo se basó en la obtención de datos primarios con el personal técnico de los diferentes laboratorios y centros de producción de medicamentos. Los centros productores de medicamentos fueron: Laboratorio de producción de formas terminadas de tabletas e inyectables y centro polivalente productor de sueros y hemoderivados y de producciones de la biotecnología.

Datos necesarios de los vertimientos:

- De procesos de la producción, de los que están por instalar o que no funcionan, así como de los vertimientos que no se estén produciendo, deben ser simulados, en

otros centros de similares producciones o pueden prepararse disoluciones, de conocerse su composición.

- De otros que se pueden encontrar en: laboratorios de control, operaciones de conservación, bioterios, lavanderías, lavaderos de frascos, áreas socio-administrativas, almacenes, líneas de formulación y envasado, cocina-comedor, baños y duchas y otros.
- Listado de las materias primas a utilizar y su composición. Estos indican la presencia de diferentes elementos, de interés para la determinación de los indicadores a considerar en la evaluación de las aguas residuales.
- Definición del cuerpo receptor para cada centro o laboratorio por el Instituto de Recursos Hídricos en cada provincia.
- Consulta de la Norma Cubana NC 27:1999 Vertimiento de las aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado, de acuerdo con los cuerpos receptores de las aguas residuales hacia acuíferos o alcantarillado o costá.
- Selección de los indicadores según los parámetros que al menos exige la Norma de vertimiento referida basado en las características del punto de vertimiento, de acuerdo con la posible composición de las materias primas utilizadas, la merma en almacenes y en las producciones, disposición de lotes sin la calidad establecida o vencidos. Igualmente deben considerarse los que puedan ser útiles para definir procesos de tratamiento como los contenidos de sólidos y sus tipos, la conductividad eléctrica, el pH, las grasas, las materias orgánicas e inorgánicas, biodegradables o no y los nutrientes, entre otros.
- Muestreo. Definición del tipo y número del muestreo, la frecuencia.⁸
- Ejecución de los ensayos mediante los métodos normalizados (Tabla 1).⁸
- Estimación de los caudales de cada vertimiento.
- Definición del número de trabajadores (total, por turno y horarios). Lo anterior definirá las aguas albañales que se generan.
- Consulta de literatura especializada, farmacopea, para cada medicamento de acuerdo con los criterios de toxicidad y solubilidad (Tabla 2).^{9,10}

La tabla 1 hace evidente la variada composición de los vertimientos

de diferentes aguas usadas en la industria de producción de medicamentos. Los índices de algunas corrientes sobre pasan las exigencias de la norma de vertimiento vigente, por lo que se hace necesario considerar el tratamiento para reducir su contaminación.

Se puede señalar que los medicamentos se encuentran mayoritariamente entre las clases 2 a 3, de acuerdo con su toxicidad, ante algunas clases de animales, según la LD₅₀, aunque algunos corresponden con las clases 1 ó 5. Ejemplo de lo anterior se presenta en la lista siguiente:

Como clase 1: nistatina, ketocanazol; clase 2: ácido fólico, levotetramisol, reserpina, fenobarbital, eritrosina; clase 3: paracetamol, metildopa, tetraciclina, etc.; clase 4: riboflavina, glicerina; clase 5: CMC.

Según la clasificación de la solubilidad, se encuentran medicamentos en todas las clasificaciones de la 1 a la 5, pues están aquellos que se disuelven en el agua y otros que resultan casi insolubles en ella. Ejemplos de insolubles: aceite de pescado, nipedipino, óxido de magnesio, aceites de girasol y soya, vitaminas B₂, E y A, dioxititanio, entre otros. Como solubles: ácido tartárico, colina, vitamina B₁, glicerina, metilparabano, ácido fumárico y otros.

Diseño

Con vistas al diseño de la planta de tratamiento se efectúan los pasos siguientes:

- De acuerdo con los informes de los resultados de los ensayos realizados a las muestras, se definen los parámetros que caracterizan cada corriente, así como los que incumplen de acuerdo con la Norma de vertimiento (Tabla 2).¹⁻¹⁵

- Cálculo estimado de las cargas orgánicas (como DBO o como DQO) e hidráulicas que aporta cada vertimiento y en su totalidad en cada centro.
- Cálculo de las relaciones DBO : DQO y C : Nt : Pt, de los vertimientos caracterizados. Estima-

ción del caudal total, horario, máximo, medio y mínimo y caudal diario, medio y máximo a tratar. ■ Definición de la solución tecnológica de los residuos y de los procesos que integrarán la planta de tratamiento, según el Manual del Projectista y las normas cubanas

Tabla 2. Criterios generales de toxicidad y solubilidad de productos.

Toxicidad	LD ₅₀	LC
	(mg/kg)	
Clase 1	≤ 50	≤ 100
Clase 2	50 a 500	100 a 1 000
Clase 3	500 a 5 000	—
Clase 4	5 000 a 15 000	—
Clase 5	≤ 15 000	—
Solubilidad	Masa disuelta (%)	
Clase 1	90 a 100	
Clase 2	10 a 90	
Clase 3	1 a 10	
Clase 4	0,1 a 1	
Clase 5	≤ 0,1	(prácticamente insoluble)

Ejemplos:

LD ₅₀ (de forma oral en ratas)	200 mg/kg
LC ₅₀ (inhulado por ratas)	2 mg/L en 4 h
LD ₅₀ (percutáneo en conejos)	400 mg/kg
Dosis límite (LD ₅₀) dosis crítica (LC ₅₀)	

Toxicidad límite de algunos productos para un lodo activado.

Producto	Concentración (ppm)
Acetona	900
Metanol	800
Fenol	250

Tabla 1. Intervalos de los parámetros correspondientes a las aguas residuales de diversos vertimientos.

Origen del vertimiento	Parámetros				
	DQO	DBO	ST	pH	CE
		(mg/L)			(μS/cm)
Producción formas terminadas inyectables	66 a 561	—	—	7,0 a 12,0	483 a ≥ 10 000
Producción formas terminadas de semisólidos	951 a 1 685	280 a 503	1 406 a 3 255	2,8 a 7,0	2 033 a 6 300
Extracción de productos naturales	88 a 1 716	10 a 707	—	7,6 a 8,9	500 a 930
Limpieza de paredes y pisos	909 a 21 600	43 a 7 920	315 a 5 595	3,7 a 10,2	140 a 2 060
Limpieza de equipos	15 a 89	0	0 a 19 945	5,0 a 13,8	40 a ≥ 10 000
Laboratorio de control de calidad	45 a 350	13 a 35	108 a 189	6,4 a 7,5	—
Etapas de purificación cromatográfica	525 a 25 490	120 a 11 280	3 170 a 51 970	4,9 a 8,4	1 100 a ≥ 10 000
Producción de productos naturales	7 a 12 621	4 a 2 520	305 a 47 300	—	340 a 1 185

DQO Demanda química de oxígeno. DBO Demanda bioquímica de oxígeno. ST Sólidos totales. CE Conductividad eléctrica.

vigentes.^{16,17} Puede considerarse la segregación de algunas corrientes para tratamientos específicos. Entre los procesos se presentan: la homogenización, los tratamientos preliminares, primarios y secundarios, desinfección u otros (Figuras 1, 2, 3 y 4).¹⁷⁻²¹

En la tarea técnica de la planta de tratamiento, se define el orden de las operaciones, los parámetros de diseño y de operación de los órganos de tratamiento, las dimensiones y eficiencias de estos, así como los posibles materiales y su recubrimiento si fuera necesario. Igualmente, se define la eficiencia total del tratamiento y la concentración final del agua residual tratada, el área total de la planta y los locales y vías de acceso. Se presentan los planos necesarios donde se identifican los procesos de la planta de tratamiento, con su secuencia (Figuras 5 y 6).

Resultados

Las tecnologías obtenidas fueron las siguientes:

- Una nueva instalación de un laboratorio de formas terminadas

de tabletas.^{11,21-23} Por sobrepasados indicadores de DQO, DBO, el intervalo de $7 \pm 0,5$ unidades de pH, para un cuerpo hídrico, según la Norma de vertimiento. Presenta variabilidad de la composición del agua residual, necesidad de la homogenización, baja carga orgánica y balance DBO : DQO, adecuados para tratamiento biológico aerobio. La planta consta de los órganos de tratamiento siguientes: sedimentación, homogenización y ajuste de pH a $7 \pm 0,5$ unidades, bombeo hacia los filtros biológicos, sedimentación secundaria y vertimiento al río del sobrenadante. La tarea técnica permitió el desarrollo de los proyectos y los vertimientos cumplen la norma de vertimiento.

- Una nueva planta piloto de fermentación y extracción química.^{11,19-21} Una planta de experimentación, en la cual puede presentarse diferente composición el agua residual por las diferentes operaciones que la integran. Debe considerarse que las aguas residuales tratadas se unen a las del Centro Nacional de

Investigaciones Científicas que se tratan en una laguna de oxidación. Las aguas residuales de esta planta piloto presentaron concentraciones de materia orgánica elevadas y variables. El tratamiento consta de un tanque de recepción de todas las corrientes, bombeo hacia una unidad de tanques para la homogenización (Fig. 4, vistas superiores) y ajuste de pH a $7 \pm 0,5$ unidades, bombeo hacia los filtros anaerobios (Fig. 2). Los tanques para descarga del effluente y su posterior recirculación, en caso de ser necesario o bombeo hacia las torres para la ozonización (Fig. 3), como tratamiento final, para la reducción de posibles contaminantes que aún permanezcan o para su desinfección. El tratamiento mediante los filtros anaerobios puede ser en paralelo o en serie, en dependencia del caudal y de la carga orgánica de las aguas residuales. El sistema está provisto de una campana para la acumulación del biogás generado, así como de válvulas para la descarga de los lodos



Tanque para segregar corriente, homogenización y ajuste de pH.



Tanques para homogenización, ajuste de pH y bombeo a tratamiento.



Ajuste de pH y estación de bombeo.

Fig. 1. Segregación de corrientes y tratamientos específicos por corrientes.



Filtros anaerobios.

Fig. 2. De acuerdo con la carga orgánica (expresada en DBO o DQO) y el balance de C : Nt : Pt y la carga hidráulica que aporte, se seleccionarán los tratamientos secundarios y terciarios que se requieran. Considerar la factibilidad de aquellos procesos de película fija, anaerobios o aerobios, que admitan variaciones de las cargas, operaciones que son propias de esta industria.



Fig. 3. Tratamientos de desinfección. Torres de ozonización.

acumulados en los filtros anaerobios. Con la tarea técnica se desarrollaron los proyectos y con la construcción de la planta de tratamiento se permitió el funcionamiento de la planta piloto.

- Una Planta para cuatro producciones de la biotecnología, en transferencia tecnológica, contratada con la tecnología de tratamiento de las aguas residuales.^{21,24} Consta de un tratamiento mediante lodo activado para una corriente específica, con un componente que es bioxidado con aire. Sedimentación para otra corriente específica, por un componente selite. Homogenización de todas las corrientes y ajuste del pH a $7 \pm 0,5$ unidades, dada su variabilidad. Necesidad del calentamiento del agua residual previo al tratamiento anaerobio, debido a que la tecnología se transfirió a un país de clima frío con temperaturas bajas en algunos horarios y épocas del año, que inhiben su funcionamiento y lo hace menos eficiente. El tratamiento anaerobio fue necesario debido a la ele-

vada carga orgánica que presenta el agua residual a tratar. Necesidad de la extracción de los lodos de los filtros cada 6 meses y secado en los lechos. Puede considerarse el empleo del lodo seco en la jardinería. Filtración fina mediante zeolita de los efluentes luego del tratamiento anaerobio. Esta filtración es muy factible para eliminar contaminantes que aún se mantienen en el efluente anaerobio, pues posibilita eliminar parte de los nutrientes que pueden permanecer. La disposición de la fracción líquida tratada en un pozo de infiltración. El biogás producido cuenta con un sistema de colección y quemado seguro, si no se va a emplear. La ingeniería conceptual y de detalle de la planta de tratamiento permitió el cumplimiento del contrato de transferencia tecnológica.

- Una solución tecnológica para centro polivalente productor de sueros y hemoderivados en remodelación (Fig. 4, vista inferior).^{18,21} Segregación de las aguas residuales más tóxicas y cargadas

orgánicamente del resto, que constituye cerca del 90 % de la carga orgánica de las aguas residuales de toda la empresa, por estar compuesta por el 45 % de alcohol (Fig. 2, vista superior). Se requiere de su homogenización y neutralización antes de su transportación a una planta de tratamiento municipal. Planta de tratamiento (1ra etapa) para el resto de las corrientes, consistente en la separación de los sólidos gruesos, por presencia de trapos, frascos, puntas, entre otros, homogenización de las cargas orgánicas y ajuste del pH a $7 \pm 0,5$ unidades, ambos por variación horaria en dependencia de los vertimientos que se van efectuando en los distintos procesos productivos y por requerimiento del tratamiento siguiente, la laguna de oxidación. Bombeo hacia esta y disposición final del agua tratada en una presa (Fig. 2, vista inferior derecha). Se obtuvo la licencia ambiental y luego de la instalación de la planta de tratamiento, la empresa dejó de constituir una fuente contami-



Características exteriores e interiores de la planta de tratamiento del Centro Nacional de Investigaciones Científicas.



Características exteriores e interiores de una parte de la planta de tratamiento de en la Empresa de Sueros y Hemoderivados.

Fig. 4. Plantas de tratamiento para aguas residuales.

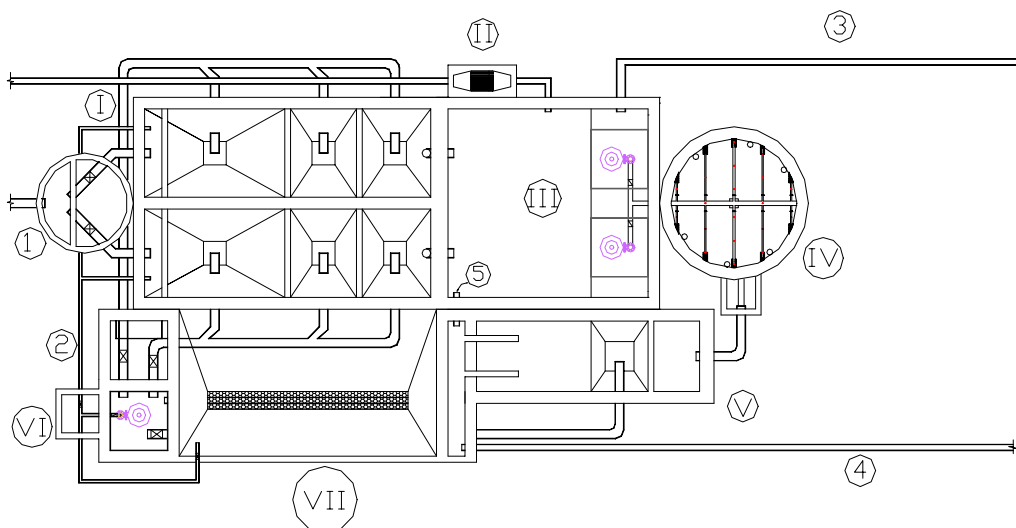


Fig. 5. Vista superior de la planta para el tratamiento de las aguas residuales de formas terminadas del Laboratorio "Julio Trigo". I Tanque séptico. II Cámara de rejas. III Depósito de bombeo. IV Filtro biológico. V Sedimentador. VI Foso de lodos. VII Lechos de secados de lodo. 1 Registro de entrada al tanque séptico y caja de válvulas. 2 Caja de válvulas del foso de lodos. 3 By pass. 4 Emisario hacia el río. 5 Recirculación.

nante de una presa hacia donde se disponían los vertimientos sin tratar. La tarea técnica facilitó la contratación de los equipos.

■ Una tecnología para el tratamiento de las aguas residuales de un laboratorio de formas terminadas inyectables en remodelación

(Fig. 5).²⁴ El tratamiento consta de: sedimentación y tratamiento de los lodos de las corrientes de las aguas de albañal y de las proceden-

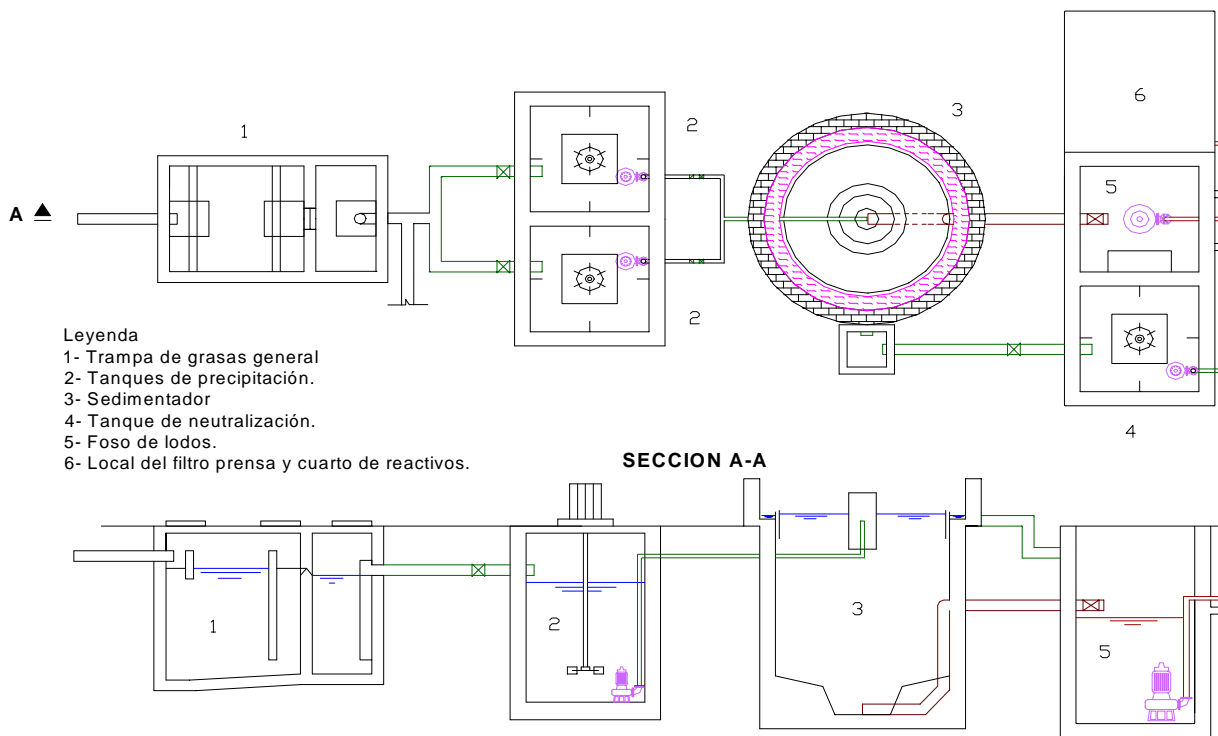


Fig. 6. Planta general de la planta de tratamiento de las aguas residuales industriales del Laboratorio Farmacéutico "Roberto Escudero".

tes de la cocina comedor, previo pase por las respectivas trampas de grasas, homogenización de todas las corrientes que llegan a la planta, ajuste a valores neutros de pH, tratamiento biológico aerobio, sedimentación y separación de los lodos y envío a la unidad inicial de sedimentación y tratamiento de ellos. Cloración de la fracción líquida de la sedimentación y disposición de las corrientes tratadas en el río. Ha permitido el desarrollo de los proyectos, lasolicitud de ofertas para el suministro de equipamiento y se incluye en los documentos para la solicitud de la licencia ambiental al CITMA (Fig. 1, vista superior de la tecnología de tratamiento.).

A partir de la obtención de las tecnologías de tratamiento para las aguas residuales de los laboratorios farmacéuticos se ha podido arribar a una metodología de trabajo²⁵

Metodología

Luego del diseño de las tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales y de la elaboración de las tareas técnicas correspondientes de los casos expuestos se puede concluir con la metodología que a continuación se expone, aplicable a centros o laboratorios, en etapa de construcción, remodelación o ampliación, que requiera de la definición del trata-

miento de los vertimientos con vistas al desarrollo de los proyectos para la construcción de la planta de tratamiento o de la definición de una solución tecnológica con tales fines²⁵

Aspectos que la integran

- Definición de todos los vertimientos derivados de los diferentes procesos en funcionamiento o no, en la producción en cada centro. Identificación de otros vertimientos, como de laboratorios, lavanderías, etc. Identificación de la composición de las materias primas. Cuantificación de los indicadores de contaminación ambiental de los vertimientos reales, similares o de disoluciones preparadas y de descargas de residuos que por su composición, agresión al medio ambiente, presenten valores alejados extremadamente de lo exigido en normas o procesos de tratamiento. Consultas en farmacopeas para identificar aspectos como toxicidad o solubilidad.
- Definición de los días, horario, frecuencia y tipo de muestreo. Basado en los horarios y tipos de producción, momentos de lavados y de máximos vertimientos, entre otros.
- Muestreo de cada corriente definida, como mínimo por triplicado, con vistas a caracterizar los parámetros, al menos, que exige la Norma de vertimiento, basado en las características del punto de vertimiento, definido por el Ins-

tituto de Recursos Hidráulicos de cada provincia.

- Definición de los caudales para cada vertimiento. Cálculo del caudal total, diario medio y máximo a tratar, horario, máximo, medio y mínimo, de acuerdo con los vertimientos declarados.
- Definición del número de trabajadores (total, horario, turno, etc.).
- Cálculo de las cargas orgánicas e hidráulicas que aporta cada vertimiento y en su totalidad cada centro.
- Cálculo de las relaciones DBO : DQO y C : Nt : Pt.
- Definición de la segregación de corrientes y tratamientos específicos por corrientes. Tratamientos preliminares que se requieran. Tratamientos primarios que sean necesarios para: separación de sólidos gruesos y finos, homogenización y neutralización de las corrientes. De acuerdo con la carga orgánica (expresada en DBO o DQO), el balance de C : Nt : Pt y la carga hidráulica, que aporten, se seleccionarán los tratamientos secundarios y terciarios que se requieran. Considerando la factibilidad de aquellos de película fija, tanto aerobios como anaerobios, que admiten variación de las cargas, propio de esta industria. Tratamientos de desinfección que se requieran. Tratamientos de espe-

samiento, secado y disposición de los lodos que se requieran. Definición de las dimensiones, eficiencias esperadas, cargas orgánicas (de acuerdo con algún parámetro) e hidráulicas, de diseño y operación. Tipo de materiales de construcción: metálicos o plásticos, necesidad de recubrimientos para impermeabilización.

- Diagrama de bloques de los vertimientos, así como de los procesos de tratamiento de los diferentes efluentes y lodos, hasta su disposición final.
- Puntos para la determinación del caudal, así como para la toma de muestras que den información de la eficiencia de cada proceso y la calidad del efluente. Área que se requiera para la planta de tratamiento. Su orientación con respecto a los vientos. Facilidades para las operaciones, acceso del personal y vehículo pequeño, local para la ubicación del operario, registro de mediciones, toma de muestras. Cuarto para la conservación de disoluciones u otros productos necesarios para el funcionamiento de la planta. Iluminación externa que permita la observación de algún parámetro o el acceso del personal.

CONCLUSIONES

Se obtuvo una metodología a partir del desarrollo de diferentes soluciones tecnológicas para el tratamiento de las aguas residuales de diversos centros o laboratorios productores de medicamentos, en etapas de construcción, remodelación o ampliación, la cual ha servido de base para el desarrollo de las tareas técnicas que se han presentado en las solicitudes de licencias ambientales al ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, así como para la búsqueda de ofertas para la elaboración de proyectos y el suministro de equipos a las plantas de tratamiento.

Ha contribuido a la situación ambiental más favorable en cada empresa, al tener caracterizados sus residuos y su agresividad, los indicadores de contaminación que incumplen la norma de vertimiento, el tratamiento que requieren y la reducción de la contaminación del ambiente.

Su aplicación a otros laboratorios o centros permitirá definir la solución tecnológica o el tratamiento más eficaz para sus vertimientos.

BIBLIOGRAFIA

1. Bueno J.L., Sastre H. y Lavín A.G. Industria farmacéutica y medio ambiente. Conocimiento ambiental. Foro Medio Ambiente Asturias XXI, España, 1997. http://teletelnet.terra.es/personal/forma_xxi/cono3.htm. Consultado: 6 de enero del 2002.
2. Daños al medio ambiente. <http://teletelnet.terra.es>. Consultado: 23 de julio del 2002.
3. Yang S., Carlson K. Routine monitoring of antibiotics in water and wastewater with a radioimmunoassay technique *Water Research*, 38, 3155-3166, 2004.
4. Weigel S., Berger U., Jensen E., Kallenborn R., Thoresen H., Hühnerfuss H. Determination of selected pharmaceuticals and caffeine in sewage and seawater from Tromsø/Norway with emphasis on ibuprofen and its metabolites. *Chemosphere*, 56, 583-592, 2004.
5. Carballa M., Omil E., Juan J.M., Lema M., Lompart M., García-Jares C., Rodríguez I., Gómez M. and Ternes T. Behavior of pharmaceuticals, cosmetics and hormones in a sewage treatment plant. *Water Research*, 38, 2918-2926, 2004.
6. El-Gohary F.A., Abou-Elela S.I. and Aly H.I. Evaluation of biological technologies for wastewater treatment in the pharmaceutical industry. *Water Science and Technology*, 32, 13-20, 1995.
7. NC 27:1999. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones, 1999.
8. APHA Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th edition. American Public Health Association, Washington, D.C., 1985.
9. Kempa E.S. The role of low-waste technologies in the management of hazardous waste in Poland. *Industrial hazardous waste management. Industrial and environment. Special Issue*, 44-45, 1988.
10. Vanderpoorten W.E. Industrial wastewater treatment an overview of the existing processes. Environmental assessment management aspect of air water pollution on from industry. State University of Ghen, Belgium, 25-26, 27-37, 1988.
11. Ramos C., Espinosa M.C., López T., y Pellón P. Tratamiento de aguas residuales de la industria farmacéutica. Centro de Información Industria Farmacéutica y el Centro de Investigación y Desarrollo de Medicamentos, Ciudad de La Habana, Cuba. 1-52, 2000.
12. Ramos C., Espinosa M.C., López T., y Pellón P. Tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria farmacéutica. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 36, 39-44, 2005.
13. Ramos C., Espinosa M.C., Cruz C., Sánchez E., López M., Pérez R., Moro L., Ruíz M., Correa O., Baluja C., Rodríguez X. Tratamiento de las aguas residuales de los centros de producción de medicamentos. *Revista Avances en Biotecnología Moderna*, 1, 16.34, 1992.
14. Ramos C., Espinosa M.C., Cruz M., López M., Montalvo S. Evaluación y tratamiento de aguas residuales de producción de anticuerpos monoclonales. *Revista Biotecnología y Bioingeniería*, 3, III-128-III-134, 1993.
15. Ramos C., Espinosa M.C., Sánchez E., Pérez R., Monitoring and treatment of residual waters from the production of pharmaceuticals, Proceeding Second International American Env. Congress, 109-113, Monterrey, Méxi-co, 1995.
16. NC 53-91. Normas para el diseño según el Manual del proyectista, efluente, EPROB, 1991.
17. Comité Estatal de Colaboración Económica. Bases de diseño. Especialidades. Hidráulica y sanitaria. Siboney, La Habana, Cuba, 47- 48, 1982.
18. Ramos C., Pellón A., Mayarí R.. Solución tecnológica para los residuos líquidos de la Empresa de Sueros y Hemoderivados de La Lisa. Forum Nacional Especializado Ramal del Ministerio de Educación Superior de Cuba. 26 de abril de 2002.
19. Ramos C., Espinosa M.C. y López M. Diseño y evaluación de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales biotecnológicas. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 28, 67-70, 1997.
20. Ramos C., Pérez R., Baluja C., Ruíz M. Correa O. Uso de la ozonización en el tratamiento de residuales crudos de fermentación y efluentes anaerobios. *Revista Contribución a la Educación Ambiental*, 0, 52-54, Editorial Academia, Cuba. 1999.
21. Ramos C., Espinosa M.C., Pellón A., López M. Soluciones tecnológicas de tratamiento de las aguas residuales de la producción de medicamentos. XIV Forum Nacional de Ciencia y Técnica, Ciudad de La Habana, Cuba, 8 al 10 de enero, 2003.
22. Ramos C. Tecnologías de tratamiento a las aguas residuales de la producción de medicamentos. Editado por Asociación de Ingeniería Sanitaria y Ambiental y la Industria Farmacéutica, Dominicanas y la Organización Panamericana de la Salud, Santo Domingo, República Dominicana, mayo del 1998.
23. Ramos C. Caracterización y estudio de la degradación biológica de los residuales líquidos farmacéuticos. Conferencia. XII Seminario Científico Centro Nacional de Investigaciones Científicas, del 27 al 30 junio, Ciudad de La Habana, Cuba. 1995.
24. Ramos C., Pellón A., Espinosa M. C., Rovirosa N., López M. y Mayarí R. Tecnología de tratamiento de desechos de diferentes producciones de medicamentos. XIII Seminario Científico Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ciudad de La Habana, Cuba, 27 al 30 junio, 2000.
25. Ramos C. y Pellón A. Metodología empleada en el diseño de tecnologías de tratamiento de las aguas residuales de la producción de diversos medicamentos. Jornada de Innovación Tecnológica, Ministerio de Ciencias, Tecnología y Medio Ambiente, Ciudad de La Habana, Cuba, 8 de julio de 2004.