

AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA: CARACTERIZACION Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y DEPURACION.

**Dr. J. Picazo. Delegación Provincial de la Consejería de Salud. Granada.
Académico Correspondiente.**

Introducción.-

El auge que en los últimos años ha teniendo en nuestro país el estudio y conocimiento del medio ambiente, y la problemática de su protección y restauración, ha sido, sin duda, una de las razones que llevaron a la Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental a la organización de las "I Jornadas sobre contaminación ambiental por la ganadería e industrias agroalimentarias", celebradas en Granada entre los días 19 y 24 de junio de 1995. Con estas Jornadas se contribuye al necesario acercamiento de esa temática a sectores profesionales en ocasiones escasamente informados o motivados, y cuya concurrencia es sin embargo imprescindible para la obtención de soluciones a la problemática ambiental, que en no poca ocasiones requiere equipos multidisciplinares de profesionales.

Este trabajo es el resultado de una ponencia presentada en esas Jornadas, en la que se abordó la problemática de las aguas residuales de la industria agroalimentaria, que constituye, por su incidencia sobre los recursos hídricos, el mayor impacto ambiental de este sector productivo, en el que los impactos derivados de la producción de residuos sólidos o de las emisiones a la atmósfera tienen cualitativamente menor entidad (A.M.A., 1990).

La preocupación por la contaminación de los recursos hídricos está justificada por alguno de los efectos que ocasiona, entre los que cabe citar el detrimento de los limitados recursos existentes, la reducción de la calidad de las aguas, lo que limita su uso en abastecimiento, industria, riego o esparcimiento y la incidencia sobre la fauna y flora que albergan los ecosistemas acuáticos, y sobre la salud humana.

La situación global heredada en nuestra región no es nada alentadora. La industria tradicional y en especial ciertos subsectores agroalimentarios generadores de

elevadas cargas contaminantes, junto con la contaminación generada por las grandes concentraciones urbanas y los grandes enclaves industriales, han llevado a la región a una situación paradójica en la que destacan los ríos andaluces entre los más contaminados del país, alcanzando niveles de contaminación similares, cuando no superiores, a los países y regiones con una mayor tasa de industrialización y urbanización (A.M.A., 1989). Esta situación no ha sido una consecuencia exclusiva de los procesos de industrialización y crecimiento económico, sino que también se sustenta en situaciones sociales de marginación y de atraso y subdesarrollo económico, que han propiciado la adopción de prácticas y modelos no compatibles con un desarrollo sostenido y duradero (A.M.A., 1989).

En los últimos años, desde la Administración, se ha impulsado el desarrollo de Programas de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales, que han tenido sólo especial incidencia sobre los grandes núcleos urbanos y las grandes áreas industriales relacionadas con el sector químico, siendo sólo destacables en el marco del sector agroalimentario las medidas de control, vigilancia y prevención adoptadas en el sector olivarero. Más recientemente el Real Decreto 484/1995, sobre medidas de regularización y control de vertidos (B.O.E., 1995a), prevé un sistema de ayudas económico-financieras en el marco de Planes Sectoriales de Regularización, que deberá tener especial incidencia sobre el sector de la industria agroalimentaria, como generador de una importante carga contaminante.

En este contexto, el propio Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente (B.O.E., 1995b), destaca el hecho de que los vertidos de las empresas industriales no cumplen, en su mayoría, con las normas de emisión, y reconoce que en la actualidad sólo el 35 % de la carga contaminante generada en Andalucía es depurada conforme a los criterios establecidos por la Unión Europea, incluyendo ese porcentaje mayoritariamente sólo a la contaminación generada por los grandes núcleos de población, dotados en la actualidad de estaciones depuradoras de aguas residuales.

Caracterización de los vertidos de aguas residuales en la industria agroalimentaria.-

Al abordar la problemática ambiental que ocasiona el vertido de aguas residuales

de este sector industrial hay que considerar una serie de características que lo diferencian de otros sectores productivos, como son su gran dispersión territorial y la estacionalidad de las actividades que desarrollan.

La dispersión territorial (Figura 1) viene impuesta en gran parte por el sistema de poblamiento andaluz, caracterizado por la existencia de importantes centros de población dispersos, lo que origina una contaminación difusa, a la que se superponen, de forma puntual, procesos graves de contaminación, como los que se han evidenciado en el eje principal del río Guadalquivir y algunas de sus principales subcuencas (M.O.P.U., 1984a; Alba-Tercedor *et al.*, 1990; Calle-Martínez *et al.*, 1990; Capitán *et al.*, 1990; Alba-Tercedor y Picazo, 1991; Zamora-Muñoz, 1992). Una de las consecuencias de esta extrema dispersión es la imposibilidad de acometer planes

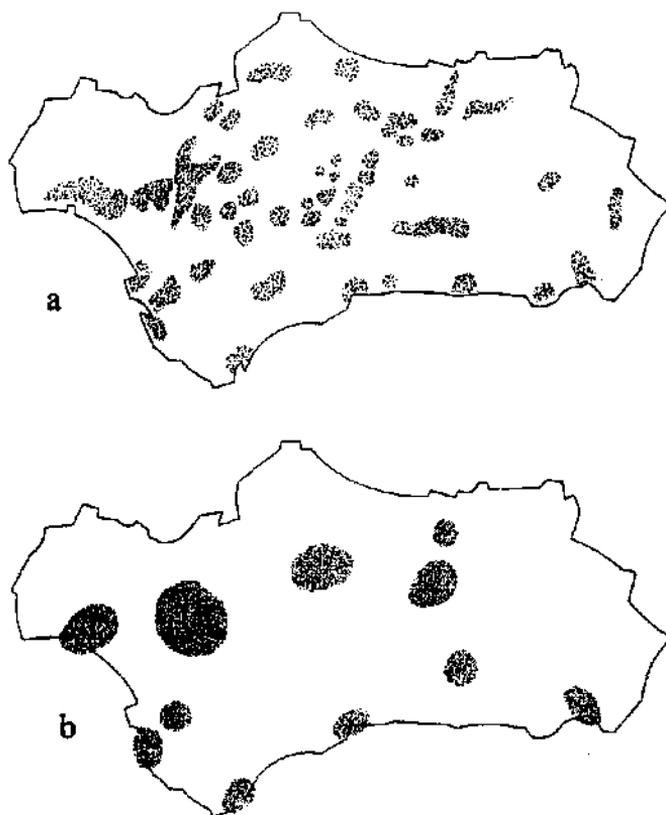


Figura 1. Distribución geográfica, en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Andalucía, de los principales focos de contaminación de la industria agroalimentaria (a), y áreas críticas por contaminación industrial (b). Fuente: Consecuencias del Mercado Unico Europeo (1992) en el medio ambiente de Andalucía. A.M.A., 1990.

correctores integrales, similares a los realizados en polos industriales, como el de Huelva o la Bahía de Algeciras, cuya concentración espacial permite soluciones viables técnica y económicamente.

En cuanto a la estacionalidad de algunos sectores, este hecho ocasiona la concentración de elevadas cargas contaminantes en un corto período de tiempo, lo que provoca un impacto mayor que si se repartieran a lo largo del año, como sucede con otros sectores industriales. Esta estacionalidad es muy acusada en el sector olivarero, tanto en las actividades de aderezo de aceituna (que se produce de septiembre a noviembre), como en el proceso de extracción de aceite de oliva en las almazaras (desde noviembre a marzo), que lleva a la concentración de una carga contaminante equivalente a la de una población de 10 a 16 millones de habitantes (M.O.P.U., 1984b; A.M.A., 1992) en tan sólo tres meses (noviembre a enero). Más extendido en el tiempo resultan las actividades de obtención de alcohol a partir de melazas o la vinificación.

Los vertidos generados por el sector agroalimentario se caracterizan en general por una elevada carga orgánica biodegradable (medida en D.B.O₅), un contenido moderado en sólidos en suspensión y la escasa o nula presencia de contaminantes tóxicos y/o peligrosos. La cantidad de materia orgánica que aportan los distintos sectores (Tabla I) es extremadamente variada, estando además condicionada en cada sector por la materia prima y el proceso productivo que se aplique.

Tabla I. Carga contaminante, expresada en equivalentes de población, para distintos sectores industriales. Fuente: Fernández-Heredia, 1989; Arévalo-Martínez, 1989. La carga contaminante asignada habitualmente a un habitante equivalente es una DBO₅ de 60 g O₂ hab⁻¹ día⁻¹ y un valor de sólidos en suspensión de 90 g hab⁻¹ día⁻¹.

Industria	Unidad	Hab. Equivalentes
Lecherías	1.000 l de leche	20-250
Mataderos	1 Tm peso vivo	100-300
Azucareras	1 Tm de remolacha	50-75
Cerveceras	1.000 l de cerveza	150-400
Bodegas	1.000 l de vino	70-150

Más interesante resulta la distribución, entre las distintas actividades generadoras de aguas residuales, de las cargas contaminantes producidas a nivel global, referidas a los parámetros demanda biológica de oxígeno (D.B.O.) y sólidos en suspensión (SS) (Figura 2). En la cuenca del Guadalquivir, cuyos datos podemos extrapolar en gran medida al resto del territorio Andaluz, el sector agroalimentario es el que aporta una mayor carga orgánica; el 67 % del total de la materia orgánica de la cuenca tiene ese origen, mientras que las aguas residuales urbanas aportan el 26 % del total (M.O.P.U., 1984b). En cuanto a sólidos en suspensión, las actividades del sector agroalimentario generan el 24 % del total de la carga contaminante que soporta la cuenca, teniendo para este parámetro mayor importancia cuantitativa las aguas residuales de origen urbano, que generan el 45 % de los sólidos en suspensión, y las procedentes de otros sectores industriales, destacando las industrias extractivas que aportan casi el 10 % del total de sólidos en suspensión (M.O.P.U., 1984b).

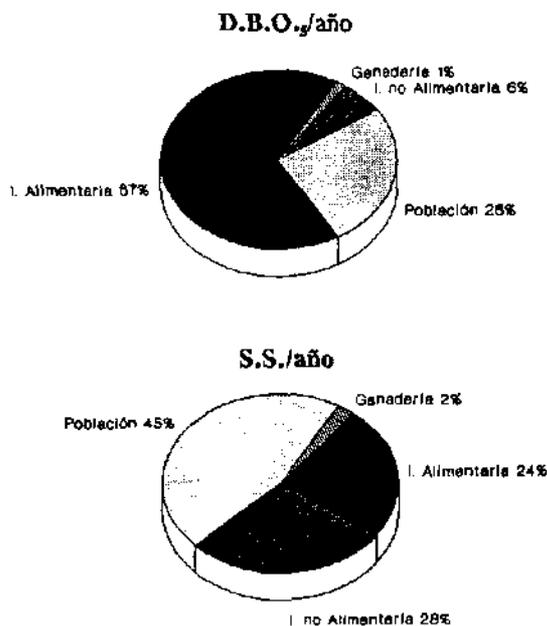


Figura 2. Contribución de las diferentes actividades a las cargas contaminantes de D.B.O. y de sólidos en suspensión en la cuenca del río Guadalquivir. Fuente: M.O.P.U., 1984b.

Si atendemos a los distintos sectores agroalimentarios (Figura 3), casi la mitad

(49 %) de la materia orgánica que genera la industria alimentaria la aporta el sector olivarero (aderezo y extracción de aceite de oliva), siendo las almazaras el sector que cuantitativamente tiene mayor importancia (35 % del total del sector agroalimentario, y algo más del 20% del total de la materia orgánica generada en la cuenca). A parte de la fabricación y rectificación de alcoholes, que representa el 23 % de la carga orgánica generada por el sector agroalimentario, cabe destacar la carga contaminante de los subsectores de aceites y derivados (refino de aceite de oliva, molturación de semillas oleaginosas, extracción de orujo, etc), azucareras y bebidas (cerveceras fundamentalmente) que en conjunto aportan otro 23 % de la materia orgánica que soporta la cuenca del río Guadalquivir (M.O.P.U., 1984b). Por último, respecto a los sólidos en suspensión, nuevamente son las almazaras la actividad industrial agroalimentaria que aportan una mayor carga contaminante (26 % del total), seguida de la producción de aceites y derivados (24 %) y las azucareras (20 %) (M.O.P.U., 1984b).

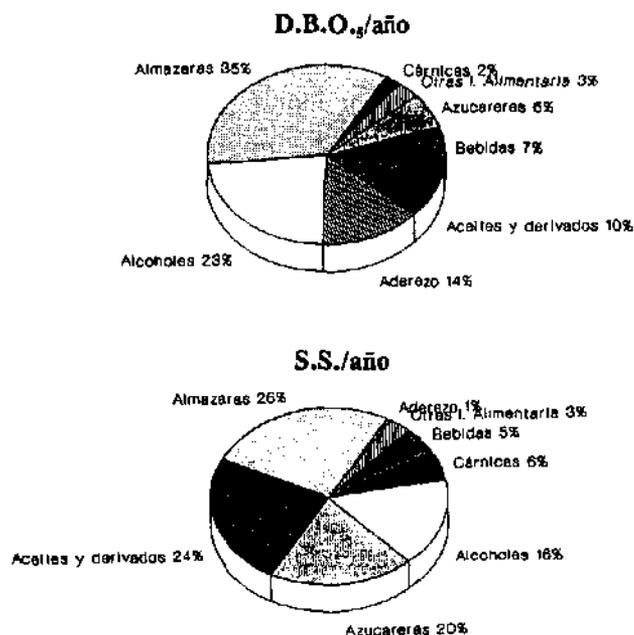


Figura 3. Contribución de las diferentes actividades de la industria agroalimentaria a las cargas contaminantes de D.B.O., y de sólidos en suspensión en la cuenca del río Guadalquivir. Fuente: M.O.P.U., 1984b.

Efectos contaminantes de la industria agroalimentaria.-

Al valorar los efectos contaminantes del vertido de aguas residuales de la industria agroalimentaria en particular, y de cualquier otra actividad en general, es preciso considerar, en primer lugar, si los efluentes generados tienen como medio receptor el mar, el suelo o los sistemas acuáticos superficiales.

El vertido al mar tiene una menor incidencia ambiental por la reducida implantación del sector en la franja costera (Figura 1), y por la elevada capacidad de dilución que ofrece este medio, aunque ello no significa que no puedan darse contaminaciones puntuales de carácter intenso. La afección de las aguas subterráneas, por el vertido directo sobre el terreno o a través de aguas superficiales (ver Custodio y Llamas, 1983), puede tener localmente especial incidencia, sobre todo cuando se trate de acuíferos kársticos, en los que la presencia de grandes grietas y/o conductos de disolución permiten una rápida contaminación de esos sistemas. En el caso de los acuíferos detriticos la acción de filtración mecánica que ofrecen los materiales, y los procesos de oxidación-reducción de productos orgánicos que se produce durante la infiltración, disminuyen la polución orgánica, aunque en el caso de que se produzcan procesos anaerobios intensos sí se llega a producir un deterioro importante de las aguas, caracterizado por la acumulación de sustancias no deseables, malos olores, gustos y color.

El vertido sobre las aguas superficiales tiene una mayor incidencia ambiental, que en todo caso va a justificar la necesidad de depurar en mayor o menor grado las aguas residuales. Si partimos de la definición de contaminación como la presencia de sustancias no deseables en concentración, tiempo y circunstancias tales que puedan afectar a las características naturales de las aguas, podemos diferenciar dos consecuencias esenciales de la contaminación originada por la industria agroalimentaria. En primer lugar, una contaminación de tipo físico-químico, que incluye fundamentalmente modificaciones de la temperatura, color, salinidad y/o sólidos en suspensión. El principal agente contaminante de esta categoría es la generación de sólidos en suspensión, cuyos efectos son variados, y comprende la modificación de las características del lecho de ríos o embalses, como consecuencia de la sedimentación de los materiales vertidos, la disminución de la transparencia de las aguas, que al limitar la penetración de la luz produce una disminución de biomasa primaria, y efectos

mecánicos sobre estructuras respiratorias de la fauna acuática (Margalef, 1974; 1983).

La segunda, y más importante consecuencia de la contaminación originada por la industria agroalimentaria, es la contaminación de carácter orgánico, que determina la sucesión de una serie de procesos que afecta a parámetros físico-químicos y a la biocenosis (Figura 4), que han sido ampliamente descritos con anterioridad por otros autores (Hynes, 1960; 1970; Margalef, 1974; 1983; Mason, 1984; Hellawell, 1986; Allan, 1995).

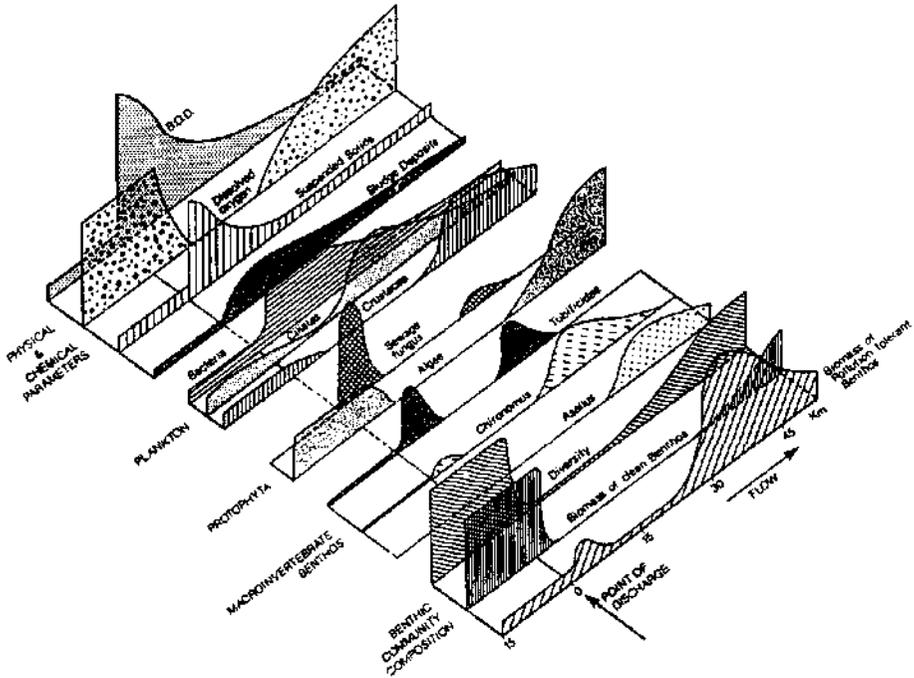


Figura 4. Sucesión espacial de los efectos físicos, químicos y biológicos producidos por una contaminación orgánica continuada en un curso de agua. Tomado de Hellawell (1986).

El enriquecimiento en materia orgánica supone un incremento de la descomposición aerobia bacteriana de esa materia orgánica, que implica un elevado consumo de oxígeno. En ciertas circunstancias, cuando la difusión de oxígeno atmosférico es insuficiente, o en las zonas profundas, puede producirse un agotamiento completo del oxígeno, dándose entonces una descomposición anaerobia, a partir del

oxígeno de elementos químicos oxidados (sulfatos, nitratos, compuestos férricos). Como subproductos de la oxidación de la materia orgánica se incrementan los contenidos en amonio y fosfatos, y sus productos de oxidación (nitratos), nutrientes que favorecen el crecimiento de productores primarios (organismos fotosintéticos). En el caso de embalses y lagos, la excesiva fertilización de las aguas desencadena el denominado fenómeno de eutrofización, que consiste, esencialmente, en un exceso de producción de biomasa cuya degradación supone un elevado consumo de oxígeno que lleva a situaciones de anoxia en las zonas profundas.

Sobre la biocenosis se producen a la vez una serie de cambios, que guardan estrecha relación con los que soportan los parámetros físicos y químicos (Figura 4). Tras el vertido se produce un gran incremento de microorganismos heterótrofos (bacterias y hongos), que ven favorecidas sus poblaciones por el incremento de los contenidos en materia orgánica. Los macroinvertebrados desaparecen prácticamente, salvo especies tolerantes a la contaminación que ven favorecidas sus poblaciones. Como resultado se produce un drástico descenso de la diversidad, que afecta también a organismos superiores (peces fundamentalmente). A medida que la materia orgánica se va transformando en nutrientes, los productores primarios van incrementando su biomasa, a la vez que se va produciendo la sustitución de las especies oportunistas de macrobentos por comunidades características de aguas limpias o ligeramente contaminadas. Al estabilizarse el exceso de materia orgánica se puede llegar a restablecer, aguas abajo del punto de vertido, el equilibrio existente entre la vida animal y vegetal y de los distintos elementos biogénicos (nitrógeno, fósforo y carbono), proceso que es conocido como autodepuración, que es la capacidad natural de asimilación de un río, factor que ha de ser siempre considerado al evaluar la calidad y cantidad de aguas residuales que pueden ser vertidas en un tramo determinado de un cauce.

Depuración de las aguas residuales.-

La exigencia de depurar las aguas residuales viene impuesta por la Ley de aguas (B.O.E., 1985) y su desarrollo normativo posterior (B.O.E. 1986; 1987), que establece, para distintos parámetros, los límites cualitativos y cuantitativos que han de cumplir los vertidos para su autorización. Sobre las aguas residuales de la industria

alimentaria, al margen de normativas sectoriales, hay que señalar la especial incidencia que tendrá la transposición a nuestro Ordenamiento jurídico de la Directiva 91/271, sobre el tratamiento de aguas residuales (D.O.C.E., 1991; B.O.E, 1995b), que obliga a los Estados miembros a velar por la aplicación, antes del año 2.001, de la normativa que controla el vertido de aguas residuales industriales biodegradables de todas aquellas instalaciones pertenecientes a los sectores recogidos en el Anexo III (Tabla II), que no viertan en redes de saneamiento y generen vertidos con una carga contaminante superior a 4.000 h.e.. Ante esta situación, la industria agroalimentaria deberá pues considerar la depuración de las aguas como una parte integrante del proceso productivo, con unos costes de inversión y mantenimiento, pues cada vez será mayor la presión legislativa en esa materia.

Tabla II. Sectores industriales generadores de aguas residuales biodegradables que deberán someterse, antes del 31 de diciembre del año 2.000, a las condiciones que se establezcan para todos los vertidos procedentes de instalaciones que representen 4.000 h.e. o más.

SECTORES INDUSTRIALES

1. Industrialización de la leche
 2. Productos elaborados del sector hortofrutícola
 3. Elaboración y embotellado de bebidas sin alcohol
 4. Industrialización de la patata
 5. Industria cárnica
 6. Industria cervecera
 7. Producción de alcohol y de bebidas alcohólicas
 8. Fabricación de piensos a partir de productos vegetales
 9. Fabricación de gelatina y de cola a partir de cueros, pieles y huesos
 10. Almacenes de malta
 11. Industrialización del pescado
-

Cuando se plantea el problema de la depuración de las aguas residuales, en primer lugar debe estudiarse a fondo el proceso productivo, y conceder una atención preferente a la minimización de la carga contaminante en origen mediante cambios en los procesos productivos. Se trata de pasar de la idea tradicional de tratamiento al final de la actividad, a un proceso de minimización que comprende el aumento de

rendimientos, la reducción de residuos, la reutilización de productos, la reducción del consumo de agua, etc., que en conjunto conducen habitualmente a una reducción de los costes económicos.

En el sector agroalimentario el ejemplo más impactante lo tenemos sin duda en la producción del aceite de oliva, con la incorporación de una tecnología que evita la generación de alpechín. De forma muy breve, la innovación del proceso productivo consiste en la modificación de la centrífuga horizontal (decanter), con la que en el sistema continuo se obtenían tres fases (aceite, orujo y alpechín). Con esta centrífuga modificada se obtienen únicamente dos fases, aceite y orujo, si bien éste se caracteriza por una mayor humedad final, lo que dificulta su manejo y, sobre todo, el secado por evaporación en las fábricas extractoras de aceite de orujo (A.M.A., 1993). Otros ejemplos de recuperación y reciclado en distintos sectores, pueden ser el lavado de verduras en contracorriente con dos tanques de sedimentación intermedios, que permite reducir el consumo de agua y el volumen de aguas residuales generadas, o la recuperación, mediante columnas intercambiadoras, de las proteínas del suero láctico que permite el consiguiente aprovechamiento del mismo y la disminución de la carga contaminante final (Azcona Landeta, 1991).

Cuando sea preciso depurar un agua residual, el objetivo final será obtener un efluente con unas características físico-químicas que permitan su vertido sin ocasionar procesos contaminantes severos en el medio receptor, o que cumpla las Ordenanzas Municipales al respecto cuando se trate de verter a una red de saneamiento municipal. La depuración se consigue mediante la aplicación sucesiva de una serie de procesos unitarios físicos, químicos o biológicos, que van despojando paulatinamente al agua residual de aquellas sustancias que no son deseables en su uso posterior, constituyen un riesgo sanitario o son perjudiciales para el medio ambiente.

Sistemas de tratamiento.-

Tradicionalmente en la depuración de las aguas residuales se suelen distinguir tres etapas o niveles sucesivos que se designan con el nombre de tratamiento primario (que incluye los pretratamientos), tratamiento secundario y tratamiento terciario, cada uno de los cuales agrupa distintas operaciones o procesos unitarios. En esas fases la

dificultad para eliminar impurezas se incrementa paulatinamente, a medida que disminuye el tamaño de las partículas que han de ser eliminadas.

La aplicación de uno u otro tratamiento, el dimensionamiento de los mismos, y las operaciones a incluir en cada uno de ellos, vendrá impuesta por las características del vertido, como el caudal (normales, máximos normales y sus duraciones), la tipología y composición de las materias en suspensión y dispersión, la carga orgánica biodegradable, y las exigencias requeridas para el vertido del efluente final.

Las operaciones principales que incluyen las distintas etapas de tratamiento son muy variadas, y aunque en esta ocasión se va a realizar una sinopsis de los más comunes, se remite al lector a tratados especializados donde se precisan sus aspectos técnicos fundamentales (Degremont, 1979; Metcalf-Eddy, 1985; C.E.M.C.I., 1989; Institut Fressenis, 1990; Hernández-Muñoz, 1992; Cheremisinoff, 1995).

- *Tratamientos previos o pretratamientos.*- Tienen como misión principal eliminar del agua residual todos aquellos elementos (sólidos gruesos, arenas y aceites y grasas) que puedan afectar al correcto funcionamiento de los tratamientos posteriores. Puede incluir, entre otras, las siguientes operaciones:

+ **Desbaste:** Consiste en el paso del agua residual a través de una sucesión de rejillas y tamices de diferente luz de malla, y tiene por objeto retirar los sólidos gruesos.

+ **Desarenado:** Permite la sedimentación mediante gravedad de las partículas más pesadas, de diámetro superior a 0,2 mm. Normalmente consiste en un canal por el que el agua residual pasa en un flujo horizontal.

+ **Desengrasado:** Consiste en la separación de grasas y aceites en estado libre, previa rotura de su emulsión mediante aireación, que posteriormente son recogidos en superficie.

- *Tratamientos primarios.*- Consisten en la separación de sólidos y líquidos

suspendidos no retenidos en el tratamiento previo. Puede incluir las siguientes operaciones:

+ Decantación primaria: Consiste en la eliminación por la acción prolongada de la gravedad de los sólidos en suspensión más fácilmente sedimentables (hasta 10 μm).

+ Flotación. Se utiliza para la eliminación de material suspendido difícilmente decantable mediante la introducción de burbujas de aire, que arrastran a las partículas hacia la superficie, donde son fácilmente eliminadas.

- *Tratamientos secundarios*.- Incluyen procesos biológicos, con sedimentación secundaria, y físico-químicos. También quedan incluidos en esta categoría los sistemas de depuración de bajo coste o tratamientos secundarios no convencionales (lagunaje, biodiscos, lechos de turba, etc), cuyas características operativas no permiten en la mayoría de los casos su aplicación en procesos productivos, por lo que en esta ocasión no se van a tratar.

Los procesos biológicos tienen por objeto eliminar la mayor parte de la materia orgánica biodegradable no retenida durante el tratamiento primario. El proceso consiste en provocar y mantener colonias de bacterias que estabilicen el contenido orgánico que les llega y, en segundo lugar, separar esas colonias mediante decantación. Resumiendo, la primera etapa consiste en copiar la acción de la naturaleza en los cursos naturales de aguas superficiales; la segunda retira el contenido orgánico estabilizado como biomasa. En este tipo de tratamientos es donde existe una mayor diversidad de sistemas de depuración, que pueden agruparse en dos grandes grupos:

+ Lechos bacterianos o filtros percoladores. El sistema consiste en depósitos rellenos de un medio filtrante de alta superficie, recubierto de una superficie (film) de organismos depuradores, a través del cual fluye el agua residual previamente decantada. Cuando los organismos crecen aumentan el espesor del film, entrando los más profundos en una fase endógena de crecimiento, a partir de la cual pierden su capacidad de adherirse a la superficie del relleno, por lo que se desprende el film y comienza el crecimiento de uno nuevo. El film así

eliminado es arrastrado por la corriente de agua reuniéndose con ella en el fondo del filtro. A continuación pasa a un decantador secundario donde se clarifica.

+ **Lodos o fangos activados:** El sistema consiste en desarrollar en cubas, aireadas y/o agitadas por diferentes sistemas, un cultivo bacteriano alimentado con el agua residual. Este cultivo bacteriano forma unos bioflóculos o lodos activos que, tras un tiempo de contacto, se envía junto al agua residual a un clarificador (decantador secundario), donde se separa el agua depurada de los fangos. Un porcentaje de estos últimos se suele recircular al depósito de aireación para mantener en el mismo una concentración suficiente de biomasa activa.

En ambos casos la fracción orgánica queda concentrada en forma de lodo o fango, que deberá también tratarse adecuadamente para facilitar su aprovechamiento o posibilitar su destrucción o almacenamiento seguro. El tratamiento normal de los lodos incluye fundamentalmente tres operaciones unitarias: espesamiento, digestión anaerobia y deshidratación.

En cuanto a los tratamientos secundarios físico-químicos, el proceso más extendido es la floculación-decantación. Es una operación por la que se intenta provocar la sedimentación de los sólidos en suspensión más difícilmente decantables, y la precipitación de partículas coloidales. Para ello se realiza un proceso de coagulación-floculación mediante la adición de coagulantes químicos (cal, sales de hierro y aluminio o polielectrolitos diversos). Tras este tratamiento los sólidos en suspensión y los coloides (hasta 1 μm) se aglomeran en partículas, llamadas flóculos, que sedimentan en decantadores.

- **Tratamientos terciarios.**- Tienen por objeto conseguir que las aguas tratadas tengan la mínima carga contaminante e incluso sean susceptibles de ser reusadas. Se eliminan fundamentalmente sustancias disueltas, en especial nutrientes (nitrógeno y fósforo), iones de metales pesados y compuestos orgánicos no biodegradables (compuestos fenólicos, hidrocarburos clorados, pesticidas etc.). Engloba una gran variedad de técnicas, entre las que podemos citar la absorción de compuestos orgánicos

por carbón activo, la nitrificación-desnitrificación, la filtración en medio granular (sintético o no), la separación por membranas, el intercambio iónico selectivo y la desinfección. Salvo la desinfección, estos tratamientos no se utilizan en el sector agroalimentario.

En el tratamiento de las aguas residuales de la mayoría de las industrias agroalimentarias se puede seleccionar una serie de los procesos descritos, que en base a las características particulares de los efluentes generados permitirán un nivel de depuración satisfactorio. En otros casos, la peculiaridad de los efluentes generados determinará el diseño de procesos específicos que garanticen rendimientos adecuados.

Bibliografía.-

- ALBA-TERCEDOR, J., CAPITAN, L.F., ESPIGARES, M., COCA, C., GUIASOLA, I. y MARTIN, J.M. (1990). *Estudio de las condiciones ecológicas, sanitarias, químicas y de calidad de las aguas de la cuenca media-alta del río Guadalquivir*. Dirección General de Obras Hidráulicas del M.O.P.U., Universidad de Granada (inédito). 428 pp.
- ALBA-TERCEDOR, J. y PICAZO, J. (1991). *Calidad biológica de las aguas de cauces de la margen izquierda del río Guadalquivir: Provincias de Granada y Jaén, II*. I.A.R.A., Universidad de Granada (inédito). 143 pp.
- ALLAN, J.D. (1995). *Stream Ecology. Structure and function of running waters*. Chapman & Hall. Londres. 388 pp.
- A.M.A. (1989). *Medio Ambiente en Andalucía. Informe 88*. Junta de Andalucía. Agencia de Medio Ambiente. Sevilla. 367 pp.
- A.M.A. (1990). *Medio Ambiente en Andalucía. Informe 89*. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura y Medio Ambiente. Agencia de Medio Ambiente. Sevilla.

356 pp.

A.M.A. (1992). *Medio Ambiente en Andalucía. Informe 1991*. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura y Medio Ambiente. Agencia de Medio Ambiente. Sevilla. 362 pp.

A.M.A. (1993). *Medio Ambiente en Andalucía. Informe 1992*. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura y Medio Ambiente. Agencia de Medio Ambiente. Sevilla. 450 pp.

AREVALO MARTINEZ, A. (1989). Depuración primaria y secundaria. En *Temas de Administración Local*, nº 32 (Ed): *La Depuración de las Aguas Residuales*, 65-163. Granada.

AZCONA LANDETA, A. (1991). Control de los efluentes líquidos industriales mediante cambios en procesos productivos. En Junta de Andalucía, Agencia de Medio Ambiente (Eds.): *Nuevas Tecnologías y Medio Ambiente*: 119-138. Imprenta Galán. Sevilla.

B.O.E. (1985). *Ley 29/1985, de 2 de agosto, de aguas*. Boletín Oficial del Estado núm. 189, de 8 de agosto de 1985.

B.O.E. (1986). *Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de aguas*. Boletín Oficial del Estado núm. 103, de 30 de abril de 1986.

B.O.E. (1987). *Orden de 12 de noviembre sobre normas de emisión, objetivos de calidad y métodos de medición de referencia, relativos a determinación de sustancias nocivas o peligrosas contenidas en los vertidos de aguas residuales*. Boletín Oficial del Estado núm. 280, de 23 de noviembre de 1987.

B.O.E. (1995a). *Real Decreto 484/1995, de 7 de abril, sobre medidas de regularización y control de vertidos*. Boletín Oficial del Estado núm. 95, de 21 de abril de 1995.

- B.O.E. (1995b). *Resolución de 28 de abril de 1995, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Vivienda, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros de 17 de febrero de 1995, por el que se aprueba el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales*. Boletín Oficial del Estado núm. 113, de 12 de mayo de 1995.
- CALLE-MARTINEZ, D., VILCHEZ-QUERO, A., CASAS-JIMENEZ, J.J. y LUQUE-CASTILLO, M.C. (1990). Estudio de la calidad de las aguas del río Guadalquivir y algunos afluentes de la cuenca alta: factores físico-químicos. *Naturalia Baetica*, 3: 10-146.
- CAPITAN, L.F., SANCHEZ-CABALLERO, M.A., CASTILLO-MARTIN, A., LOPEZ-CHICANO, M. y SANCHEZ-GOMEZ, P. (1990). Química Analítica. En *Caracterización físico-químico-biológica de las aguas del alto Genil. Estudio integral de la calidad y contaminación de las aguas*: 51-128. Dirección General de Obras Hidráulicas del M.O.P.U., Universidad de Granada. (Inédito). 278 pp.
- C.E.M.C.I. (1989). *La depuración de las aguas residuales*. Temas de Administración Local, nº 32. 424 pp. Granada.
- CHEREMISINOFF, P.N. (1995). *Handbook of water and wastewater treatment technology*. Marcel Dekker, Inc. New York. 833 pp.
- CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.P. (1983). *Hidrología subterránea*. Segunda Edición. Ed. Omega. Barcelona. 2350 pp.
- D.O.C.E. (1991). *Directiva del Consejo de 21 de mayo de 1991, sobre tratamiento de aguas residuales urbanas*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas núm. L 135, de 30 de mayo de 1991.
- FERNANDEZ HEREDIA, E. (1989). Depuración de aguas residuales en pequeños núcleos de población por procedimientos tradicionales. En *Temas de Administración Local*, nº 32 (Ed): *La Depuración de las Aguas Residuales*, 307-374. Granada.

- HELLAWELL, J.M. (1986). *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Elsevier Applied Science Publishers. London, New York. 546 pp.
- HERNANDEZ MUÑOZ, A. (1992). *Depuración de aguas residuales*. Segunda ed. Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. 927 pp.
- HYNES, H.B.N. (1960). *The biology of polluted waters*. Liverpool University Press. 201 pp.
- HYNES, H.B.N. (1970). *The ecology of running waters*. University of Toronto Press. 555 pp.
- INSTITUT FRESSENIUS (1990). *Technologie des eaux résiduaires: production, collecte, traitement et analyse des eaux résiduaires*. Springer, Paris. 1137 pp.
- MASON, C.F. (1984). *Biología de la contaminación del agua dulce*. Ed. Alhambra. Madrid. 289 pp.
- MARGALEF, R. (1974). *Ecología*. Ed. Omega, S.A., Barcelona. 951 pp.
- MARGALEF, R. (1983). *Limnología*. Ed. Omega, S.A., Barcelona. 1010 pp.
- M.O.P.U. (1984a). *Plan de Saneamiento y Depuración. Plan Hidrológico complementario y actualizado de la cuenca del Guadalquivir. Fase I: Contaminación actual de los ríos. Determinación de zonas críticas*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Comisaría de Aguas. Madrid. Tomo 9, 126 pp.
- M.O.P.U. (1984b). *Plan de Saneamiento y Depuración. Plan Hidrológico complementario y actualizado de la cuenca del Guadalquivir. Fase II: Cuantificación y zonificación de los vertidos*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Comisaría de Aguas. Madrid. Tomo 10, 171 pp.

ZAMORA-MUÑOZ, C. (1992). *Macroinvertebrados acuáticos, caracterización y calidad de las aguas de los cauces de la cuenca alta del río Genil*. Tesis Doctoral, Universidad de Granada (inédito). 255 + 109 pp.

