

Gestión del Riesgo Sanitario en la Regeneración del Agua

Tesina de especialización

Autor: Bastien Fournier
Estudiante de la Universidad Politécnica de Cataluña

Tutor: Rafael Mujeriego
Catedrático de la Universidad Politécnica de Cataluña

Especialidad: Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Estudio patrocinado por la FUNDACIÓN AGBAR

Barcelona, marzo 2006

RESUMEN

La reutilización planificada de las aguas regeneradas es una estrategia de gestión que permite aumentar los recursos hídricos en zonas costeras. Entre sus ventajas más importantes conviene resaltar la regularidad del caudal producido, especialmente durante el verano, y la aportación de fertilizantes cuando se reutiliza para regadío. Sin embargo, los efluentes depurados deben someterse a una estrecha vigilancia, debido a que la materia prima que sirve para obtenerlos es un agua residual que contiene numerosos peligros, tanto biológicos como químicos. El objetivo principal de esta tesina es analizar las posibilidades que un método de valoración y control de riesgos puede tener para elaborar un método de gestión y de control de los riesgos asociados con estos peligros.

El estudio de los métodos aplicados a la gestión de los riesgos sanitarios del agua potable ha puesto de manifiesto que el método HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) se viene utilizando desde hace una década para controlar estos riesgos. El método HACCP fue desarrollado para la industria agroalimentaria y consta de 12 etapas. Las dos etapas más importantes son el análisis de los peligros y la determinación de los Puntos Críticos de Control (PCC), que son las fases del proceso dedicadas a controlar la eliminación de un determinado peligro. Aunque los PCC de los sistemas de potabilización de agua dependen de los procesos de tratamiento utilizados, suelen coincidir con las etapas de desinfección, de almacenamiento y de distribución del agua potable.

El método HACCP ha sido aplicado por diversos autores a otras facetas del ciclo del agua, como la regeneración de agua para recarga artificial de acuíferos y el compostaje de fangos de depuración. Los PCC identificados en estos procesos coinciden también con las etapas de desinfección, destinadas a controlar la inactivación de los microorganismos patógenos.

La revisión detallada de estos estudios ha permitido concluir que el método HACCP puede aplicarse igualmente a los procesos de regeneración de agua, y ofrece numerosos elementos adaptables a los objetivos del presente estudio. Esta tesina describe las 12 etapas de que consta el diagrama de flujo del método HACCP, y propone un diagrama de flujo específico para un sistema de regeneración de agua.

Como ejemplo ilustrativo, esta tesina contiene un estudio detallado de la adaptación del método HACCP a la planta de depuración y de regeneración de agua de Castell Platja d'Aro, en la Costa Brava. El sistema de depuración consta de un tratamiento biológico convencional mediante fangos activados, al que sigue un sistema de regeneración constituido por un proceso de filtración en medio granular de arena, seguido de un proceso de desinfección con luz ultravioleta, y de otro con hipoclorito sódico. Un estudio detallado de los datos históricos facilitados por el Consorcio de la Costa Brava ha permitido identificar las posibles fuentes de peligros, así como los puntos carentes de riesgo. La aplicación del método HACCP ha permitido identificar 4 PCC, para los que se proponen diversos métodos de control, basados en medios técnicos convencionales y estrategias de trabajo utilizadas comúnmente en los procesos de tratamiento del agua.

ABSTRACT

Planned water reuse of reclaimed effluents is a management strategy that allows augmentation of water resources in coastal areas. Two of its main advantages are the reliability of the resulting water flows, particularly during summer seasons, and the nutrients contributions when reclaimed water is used for irrigation. However, treated effluents must be carefully controlled, as the raw material used in their production is wastewater that offers numerous biological and chemical hazards. The main objective of this thesis is to evaluate the possibilities that a hazards assessment and control method may offer to define a method for the management and control of the risks associated to those hazards.

A study of the methods applied to manage public health hazards associated to drinking water indicates that the HACCP method (Hazard Analysis and Critical Control Point) has been used for a decade to control those hazards. The HACCP method was initially developed for the food industry and includes 12 consecutive steps. The two most important steps are hazards analysis and identification of the Critical Control Points (CCP), which are the system steps where the hazards elimination processes can be controlled. Although the CCP of drinking water production systems are dependant on the specific treatment processes used, they are normally associated to disinfection steps, storage steps, and potable water distribution steps.

The HACCP method has been applied by several authors to different elements of the water cycle, such as water reclamation for artificial groundwater recharge and composting of sludge from wastewater treatment processes. The CCP identified in those applications are also the disinfection steps directed to control inactivation of pathogenic microorganisms.

The conclusion reached from a detailed review of those studies is that the HACCP method can be equally applied to water reclamation processes, while offering numerous elements that can be adapted to the main objectives of this study. This thesis describes the 12 steps included in the general flow diagram of the HACCP method, and defines a specific flow diagram for water reclamation systems.

As an illustration, this thesis includes a detailed study on how to adapt the HACCP method to the Castell Platja d'Aro (Costa Brava) wastewater treatment plant and water reclamation plant. The wastewater treatment plant includes a conventional biological process by activated sludge, followed by a water reclamation system that includes a granular media sand filtration process, an ultraviolet light disinfection process, and a sodium hypochlorite disinfection process. A detailed study of the historical data provided by Consorcio de la Costa Brava, the Water and Sanitation Agency of Costa Brava, has served to identify the potential hazards sources, as well as the points with no hazard. An application of the HACCP method has identify 4 CCP, for which several control methods are proposed, based on conventional technical methods and working strategies commonly used in water treatment processes.

AGRADECIMIENTOS

A mis compañeros de Barcelona, de l'ETSECCPB, y muy especialmente a los que me ayudaron a ir adelante con este trabajo.

Por otro lado, quería expresar mis agradecimientos a Claude Verges de Aguas de Barcelona por haberme propuesto este tema de tesina muy interesante, a la Fundación Agbar y a través de ella a su director, Jordi Molina, por su soporte financiero, a María Deocón por su gran apoyo técnico y logístico, a Jordi Muñoz por haberme facilitado importantes datos para esta tesina y por último al Profesor Rafael Mujeriego por todos sus consejos muy pertinentes, su importante ayuda a la hora de redactar este trabajo y todas las horas dedicadas.

ÍNDICE

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vii
ÍNDICE.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
Capítulo 1 INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo 2 OBJETIVOS.....	5
Capítulo 3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
AGUA POTABLE.....	7
SÍNTESIS.....	18
REUTILIZACIÓN DE AGUAS Y COMPOSTAJE DE FANGOS.....	20
SÍNTESIS.....	26
Capítulo 4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
LAS ETAPAS PRELIMINARES DEL SISTEMA DE HACCP (etapas 1 a 5).....	30
LOS SIETE PRINCIPIOS DEL SISTEMA HACCP (etapas 6 a 12).....	33
CONCLUSIÓN.....	36
Capítulo 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
EDAR DE CASTELL PLATJA D'ARO.....	37
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO.....	41
ANÁLISIS DE LOS PELIGROS.....	58
ANÁLISIS DE RIESGOS.....	71
DETERMINACIÓN DE LOS PCC Y PA.....	72
Capítulo 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
El método HACCP.....	83
Planta de Regeneración de Castell Platja d'Aro:.....	85
Recomendaciones.....	86
Capítulo 7 REFERENCIAS.....	87
ANEJO 1 Léxico.....	89
ANEJO 2 Criterios de reutilización de las aguas en Cataluña (ACA).....	93
ANEJO 3 Calidades mínimas para la reutilización de efluentes depurados (CEDEX).....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Valores propuestos para ordenar los riesgos. Tabla utilizada para la producción de agua potable en Melbourne, Australia (Carl Stivers, Parametrix, Australia).	10
Tabla 3.2. Estimación de la eficacia de un sistema de barreras múltiples. (Adaptado de Australian Drinking Water Guidelines, 2002)	14
Tabla 3.3. Ejemplo de la ficha resumen de un PCC: el proceso de cloración del agua. (Adaptado de Australian Drinking Water Guidelines, 2002)	16
Tabla 3.4. Valores de C.t recomendados para la desinfección con cloro libre (mg.min/L).	17
Tabla 3.5. El método HACCP aplicado a la planta de regeneración de agua de Culpen (Dewettinck y col., 2001).	22
Tabla 4.1. Propuesta de criterios físico-químicos y biológicos mínimos aplicables al agua residual depurada para su reutilización (CEDEX, 1999).	31
Tabla 4.2. Ejemplos de parámetros de calidad utilizados para el control de diferentes procesos de desinfección. (Compilado de HACCP to guarantee safe water reuse and drinking water production - a case study, Dewettinck y col. 2001, Australian Drinking Water Guidelines, 2002)	35
Tabla 5.1. Parámetros de control utilizados en los diferentes puntos de muestreo	41
Tabla 5.2. Calidad del agua residual afluyente a la EDAR de Castell-Platja d'Aro, en función de la estación anual (Invierno = octubre a mayo; Verano = junio a septiembre)	43
Tabla 5.3. Calidad del efluente secundario y terciario (a) según la temporada (I = invierno de octubre a mayo; V = verano, de junio a septiembre, excepto para los CF: I= de septiembre a marzo y V= de mayo a agosto).	49
Tabla 5.4. Análisis comparativo de la conductividad eléctrica (CE), en $\mu\text{S}/\text{cm}$, medida en diferentes PM de la EDAR de Castell Platja d'Aro.	49
Tabla 5.5. Criterios de calidad del agua regenerada para el riego de campos de golf (Agencia Catalana del Agua, 2003).	57
Tabla 5.6. Concentraciones usuales de microorganismos en un agua residual doméstica, en número de microorganismos por 100 ml (unidades logarítmicas). Fuente: Vergés y Salgot (2003).	59
Tabla 5.7. Grado de inactivación (u _{log} /100 ml) de las etapas del proceso de depuración y de regeneración, como sistema de barreras múltiples frente a los microorganismos patógenos (Adaptado de Australian Drinking Water Guidelines, 2002)	59

Tabla 5.8. Resumen de los peligros inherentes al proceso de regeneración del agua.....	71
Tabla 5.9. Características del PCC 1.....	75
Tabla 5.10. Características del PA 1.....	75
Tabla 5.11. Características del PA 2.....	76
Tabla 5.12. Características del PA 3.....	77
Tabla 5.13. Características del PA 4.....	78
Tabla 5.14. Características del PCC 2.....	78
Tabla 5.15. Características del PCC 3.....	79
Tabla 5.16. Características del PCC 4.....	80
Tabla 5.17. Plan HACCP simplificado para planta de regeneración de agua de Castell Platja d'Aro.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Ejemplo de “fault tree” utilizado para determinar la posibilidad de que una tormenta contamine un río (adaptado de Stevens <i>et al.</i> 1995).....	8
Figura 3.2 Las 12 etapas del método HACCP.....	9
Figura 3.3. Ejemplo de un diagrama de decisión. (Codex Alimentarius, segunda edición, 1999).....	15
Figura 3.4. Tecnología adoptada en la planta de regeneración de agua de Wulpen, Bélgica. (Dewettinck y col., 2001).....	21
Figura 5.1. Diagrama de flujo de la planta de Castell Platja d’Aro con los PM.	40
Figura 5.2. Caudal mensual afluente a la EDAR de Castell-Platja d’Aro (CCB, 2004).....	42
Figura 5.3. Evolución histórica de la conductividad eléctrica del afluente a la EDAR de Castell-Platja d’Aro (CCB, 2004).....	43
Figura 5.4. Variación de la DBO a la entrada de la depuradora.....	45
Figura 5.5. Variación de la DQO a la entrada de la depuradora.	45
Figura 5.6. Relación entre la DQO y la DBO ₅ del afluente a la EDAR de Castell Platja d’Aro (CCB, 2004).....	46
Figura 5.7. Evolución histórica de la concentración de sulfuros en el afluente (PM1) de la EDAR de Castell Platja d’Aro (CCB, 2004).	47
Figura 5.8. Distribución de frecuencias de la diferencia entre dos valores consecutivos de la concentración de sulfuros en el afluente (PM1) de la EDAR de Castell Platja d’Aro (CCB, 2004).....	47
Figura 5.9. Valores de la DBO ₅ del efluente en el PM3 de la EDAR de Castell Platja d’Aro (CCB, 2004).....	50
Figura 5.10. Valores de la DQO del efluente (PM3) de la EDAR de Castell Platja d’Aro (CCB, 2004).....	51
Figura 5.11. Relación entre los CT y los CF del efluente secundario de la EDAR de Castell Platja d’Aro, (CCB, 2004).....	51
Figura 5.12. Relación entre los EF y los CF del efluente secundario de la EDAR de Castell Platja d’Aro, (CCB, 2004).....	52
Figura 5.13. Variación de los CF a lo largo del año 2003, en el efluente secundario de la EDAR de Castell Platja d’Aro, (CCB, 2004).	52
Figura 5.14. Usos del agua regenerada de la EDAR de Castell Platja d’Aro, (CCB, 2004).....	53

Figura 5.15. Eliminación de MES en los filtros Hydro-clear de la EDAR de Castell Platja d'Aro, (CCB, 2004).	54
Figura 5.16. Eliminación de MES en el filtro de arena Hydro-clear de la EDAR de Castell Platja d'Aro, (CCB, 2004).	55
Figura 5.17. Coliformes fecales antes y después de la desinfección en la EDAR de Castell Platja d'Aro, (CCB, 2004).	56
Figura 5.18. Relación entre la transmitancia y la turbiedad del agua regenerada en la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).	61
Figura 5.19. Eficacia del proceso de desinfección con luz UV, en ulog, en la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).	61
Figura 5.20. Inactivación de CF mediante la filtración y la desinfección con luz UV en la planta de regeneración de agua de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).	63
Figura 5.21. Inactivación de CF en el proceso de regeneración de agua de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004) a) No hay valor después de luz UV, b) No hay valor después de la cloración.	65
Figura 5.22. Distribución estadística de la concentración de CF entre 2003 y 2004 en varias etapas del proceso de regeneración de agua de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).	66
Figura 5.23. Distribución estadística de la concentración de CT durante el 2003 en varias etapas del proceso de regeneración de agua de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).	66
Figura 5.24. Distribución estadística de la concentración de EF durante el 2003 en varias etapas del proceso de regeneración de agua de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).	67
Figura 5.25. Contenido de CF en función del cloro total, en el proceso de regeneración de agua de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).	68
Figura 5.26. Contenido de CF del agua regenerada, en función del contenido de cloro residual, en el proceso de regeneración de agua de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).	68
Figura 5.27. Evaluación estadística de la calidad del agua regenerada y del agua almacenada en los lagos ornamentales del golf d'Aro, mediante su contenido de coliformes fecales (CCB, 2004).	69
Figura 5.28. Evolución cronológica de la calidad del agua regenerada y del agua almacenada en los lagos ornamentales del golf d'Aro, mediante su contenido de coliformes fecales (CCB, 2004).	70
Figura 5.29. Plan HACCP de la planta de Castell Platja d'Aro.	73

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

La seguridad sanitaria y, en particular, la seguridad alimentaria tienen una importancia cada vez mayor en nuestra sociedad, en la que el agua juega un papel muy importante. El agua es la causa de numerosas enfermedades, incluso en los países desarrollados. Las aguas potables y las aguas de baño son las que provocan más afecciones, aunque el agua puede también afectar a la salud humana por contacto indirecto, a través de la contaminación de la ropa, de los alimentos o de la atmósfera, por ejemplo.

Todo ello explica que el agua haya sido un producto sometido a intensos controles desde hace décadas. Todos los países tienen legislación específica en la que se establecen las normas de calidad de las aguas así como los medios para su control. Además esa legislación suele recomendar el uso de ciertas técnicas para el tratamiento de las aguas de abastecimiento y las aguas residuales. Es la estrategia adoptada por las organizaciones internacionales y muy especialmente por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Los peligros que puede presentar un agua son básicamente de dos tipos: biológicos y químicos. Conviene aclarar la diferencia entre un peligro y un riesgo. Un peligro es un agente que puede ocasionar un efecto nocivo para la salud, mientras que un riesgo es una función que permite valorar la probabilidad de que se produzca un efecto adverso sobre la salud, y con una determinada gravedad, como resultando de la presencia de uno o más peligros en un alimento. Los peligros biológicos se originan por la presencia de microorganismos patógenos en el agua. Estos microorganismos pueden provocar desde simples enfermedades hasta la muerte en casos extremos. Los peligros químicos suelen ser debidos a productos químicos o a metales pesados procedentes de la industria o de la agricultura. Estos productos pueden ser dañinos cuando se ingieren en pequeñas dosis durante tiempo prolongado y pueden provocar enfermedades de tipo mutagénico y cancerígeno.

Se dispone de dos grandes principios de gestión para limitar la presencia de estos peligros en el agua. El primero y más clásico consiste en someter el agua a un cierto tipo de tratamiento, en el que se incluye un proceso de desinfección, para obtener el agua potable. El segundo consiste en proteger las aguas naturales, impidiendo los vertidos contaminantes y depurando las aguas residuales antes de su vertido.

Las técnicas de tratamiento de las aguas potables y las aguas residuales han venido progresando de forma constante, ofreciendo actualmente nuevas alternativas basadas en las tecnologías de vanguardia. Sin embargo, una misma instalación puede proporcionar resultados muy diferentes, dependiendo de la eficiencia con la que se gestione. Por este motivo, y con el fin de regularizar la gestión de la calidad del agua, se han adoptado diversas normas de calidad de la gestión, entre las que destaca sin duda la norma ISO 9000. A pesar de los progresos técnicos y de los avances realizados en la capacidad analítica y de control del agua, ésta sigue provocando efectos desfavorables sobre la salud. Los nuevos métodos de gestión de la calidad, orientados específicamente hacia la gestión de los peligros, pueden mejorar la calidad sanitaria del agua y evitar muchos problemas de salud pública.

Los métodos de gestión del riesgo han experimentado un desarrollo notable durante los últimos años. Entre las nuevas aportaciones, conviene destacar el HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) como uno de los más adecuados. “El HACCP aporta un enfoque sistemático para identificar los peligros y estimar los riesgos que pueden afectar la inocuidad de un alimento, a fin de establecer las medidas adecuadas para controlarlos” (INPPAZ OPS/OMS). El método HACCP fue desarrollado en los años sesenta y se ha generalizado en la industria agroalimentaria durante las últimas décadas. El Codex Alimentarius recomienda aplicarlo a toda la cadena de producción alimentaria, desde la granja hasta el plato del consumidor. El agua es un elemento omnipresente en esa cadena: además de ser un alimento en sí misma, figura en la composición de casi todos los alimentos y está en contacto directo o indirecto con ellos durante su proceso de elaboración, desde el riego de las legumbres hasta la limpieza de los utensilios en las industrias agroalimentarias.

Hasta ahora, el HACCP se ha aplicado sobre todo en la producción y la distribución de agua potable, aunque su extensión ha quedado limitada a ciertos países como Australia, Francia o Suiza. Los resultados positivos derivados de su aplicación han hecho que el HACCP continúe extendiéndose a otros países y otros sectores del agua. Además, la OMS lo ha incluido en sus recomendaciones para la producción de agua potable.

La OMS recomienda también que el HACCP se aplique a la gestión de la calidad de las aguas de baño y a la reutilización planificada del agua. La reutilización planificada de las aguas residuales depuradas aparece como una solución económicamente viable en un contexto de escasez de agua como el que afecta a ciertas regiones áridas y semiáridas, como California o Cataluña, y cabe pensar que esta técnica alcanzará una mayor importancia en el futuro. Una de las motivaciones principales de la reutilización planificada del agua es sin duda el desarrollo técnico que los procesos de depuración y de tratamiento terciario están experimentando, así como una disminución de sus costes. Además, las consecuencias del cambio climático pueden hacer que el Levante, Cataluña y muchas otras regiones mediterráneas acentúen su carácter árido durante la temporada estival. Por otra parte, razones económicas y de fiabilidad harán que las industrias se interesen también por la reutilización planificada de sus aguas de proceso y la utilización de aguas regeneradas para la refrigeración.

Aunque la utilización de agua regenerada para la producción directa de agua potable es una alternativa generalmente descartada, la calidad sanitaria del agua regenerada es un factor muy importante en cualquier utilización. El agua residual tiene una carga contaminante mucho más elevada que el agua bruta superficial generalmente utilizada para la producción de agua potable. La reutilización planificada del agua implica riesgos sanitarios que es imprescindible controlar. Además, los consumidores perciben con desconfianza cualquier propuesta de reutilización de residuos.

La eficiencia del método HACCP ha quedado suficientemente probada en el caso de la potabilización del agua y debería ser por tanto una herramienta eficaz también en el ámbito de la regeneración del agua. El método se ha implantado con éxito, por ejemplo, en Bélgica para la recarga de acuíferos y también en la industria agroalimentaria para ahorrar agua de abastecimiento. Por tanto, parece posible y conveniente que el método HACCP se aplique de forma más extensa en el ámbito de la gestión de los recursos hídricos y en particular de la reutilización planificada del agua.

La aplicación del HACCP en la regeneración del agua aportaría diversos beneficios, entre los que cabe destacar:

1. Un mejor control de los riesgos sanitarios asociados con el agua regenerada.
2. Un reconocimiento del sistema de autocontrol y un sello de calidad muy reconocido.

3. Una disminución de la frecuencia de muestreo del agua regenerada por los organismos estatales y por tanto una reducción de los costes del proceso de control de calidad.

Por otra parte, el control en continuo que supone la aplicación del método HACCP permitiría asegurar un mejor ajuste de algunos parámetros de calidad, como la concentración de desinfectante residual. Este mejor ajuste permitiría un ahorro de reactivos y de energía, así como una mayor estabilidad de las características del producto final.

Capítulo 2

OBJETIVOS

El objetivo principal de esta tesina es elaborar un método para gestionar los riesgos sanitarios asociados con la regeneración del agua, de modo similar a como se realiza en otras fases del ciclo del agua.

Los objetivos específicos de esta tesina son los siguientes:

1. Revisar la bibliografía existente sobre la gestión del riesgo sanitario asociado con el uso del agua mediante la aplicación del método HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point), que está considerado actualmente como un protocolo de referencia en este campo.
2. Estudiar la aplicación del HACCP en la gestión del agua potable, por ser ésta la fase del ciclo del agua más avanzada en este tema, y en otras fases del ciclo del agua. Con ello se trata de definir los principios básicos utilizados para la gestión de riesgos en el ciclo del agua mediante la utilización del HACCP.
3. Proponer un método para la gestión de los riesgos sanitarios asociados con la regeneración del agua, basado en el HACCP, y aplicarlo virtualmente a una planta de regeneración de agua, comprobando la eficacia del método mediante simulaciones con datos históricos.
4. Elaborar una guía metodológica para la aplicación del HACCP a los procesos de regeneración del agua.

Capítulo 3

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

AGUA POTABLE

ESTRATEGIAS DE CONTROL – RECOMENDACIONES DE LA OMS (Deere, Davison, Helm y Dufour, 1999)

Objetivos

La OMS actualiza con regularidad una guía sobre la producción de agua potable. La última versión de esta guía introduce los conceptos del método HACCP en el apartado relativo a la estrategia de control del proceso. Los objetivos de este apartado son 1) enunciar los principios de la gestión de riesgos en el agua en general, 2) presentar el método HACCP, sus principios y sus beneficios y 3) proponer una guía muy simplificada para su aplicación al agua potable.

Método

Los autores son especialistas en la gestión de los riesgos sanitarios del agua. Dos de ellos colaboran también en la redacción de las recomendaciones para la producción de agua potable en Australia. El trabajo está dirigido a un público muy amplio. En una primera parte, los autores explican los conceptos básicos del método y justifican la necesidad de cambiar los métodos clásicos de gestión del riesgo por un método del tipo HACCP. En una segunda parte, desarrollan un ejemplo aplicado al agua potable y presentan las ideas generales de cómo aplicar el HACCP.

Resumen

El análisis clásico utilizado para caracterizar un riesgo consta de cuatro elementos:

1. Identificación de los peligros:
Un peligro es cualquier componente de un producto (como por ejemplo agua potable, agua generada o agua de baño) que puede provocar un daño a los consumidores.
2. Exposición de un individuo a los peligros identificados:
Para cada peligro hay que 1) identificar dónde y cómo éste se incorpora al sistema, 2) determinar quién va a estar expuesto al peligro, de qué manera lo va a estar y qué factores del sistema actúan sobre el peligro, 3) estimar la concentración del peligro a la que puede estar expuesto el consumidor y 4) estimar la cantidad y el tiempo de exposición al peligro.
3. Dosis – respuesta:
Cada peligro tiene un efecto diferente sobre los individuos. Este efecto, o respuesta, depende de la dosis aplicada al individuo y de las características del individuo afectado.
4. Caracterización del riesgo:
La consideración conjunta del nivel de exposición a un peligro y de su relación dosis – respuesta permite caracterizar el riesgo asociado con un determinado peligro. Esta caracterización debe tener en cuenta la incertidumbre propia de cada etapa del análisis. Si el riesgo asociado a un peligro no es aceptable, es necesario eliminar o reducir ese peligro. La dificultad de este tipo de estudio es que pueden ser necesarios numerosos años para completarlo. En consecuencia, es necesario adoptar una visión simplificada en la mayoría de los casos.

Los peligros pueden clasificarse en dos grandes categorías:

1. Los peligros microbiológicos, causados por bacterias, virus y protozoos, que suelen provocar infecciones tras una exposición aguda a los mismos.
2. Los peligros químicos, que pueden provocar tanto intoxicaciones crónicas, tras una larga exposición a pequeñas concentraciones, o bien agudas, cuando la concentración es importante durante un breve lapso de tiempo.

Los autores introducen otros dos conceptos:

1. Un evento es cualquier acontecimiento que propicia un riesgo mayor.
2. El “fault-tree” (diagrama de fallos) es una herramienta muy útil para evaluar las circunstancias en que un evento puede incrementar el nivel de riesgo. A continuación se muestra un ejemplo (Figura 3.1)

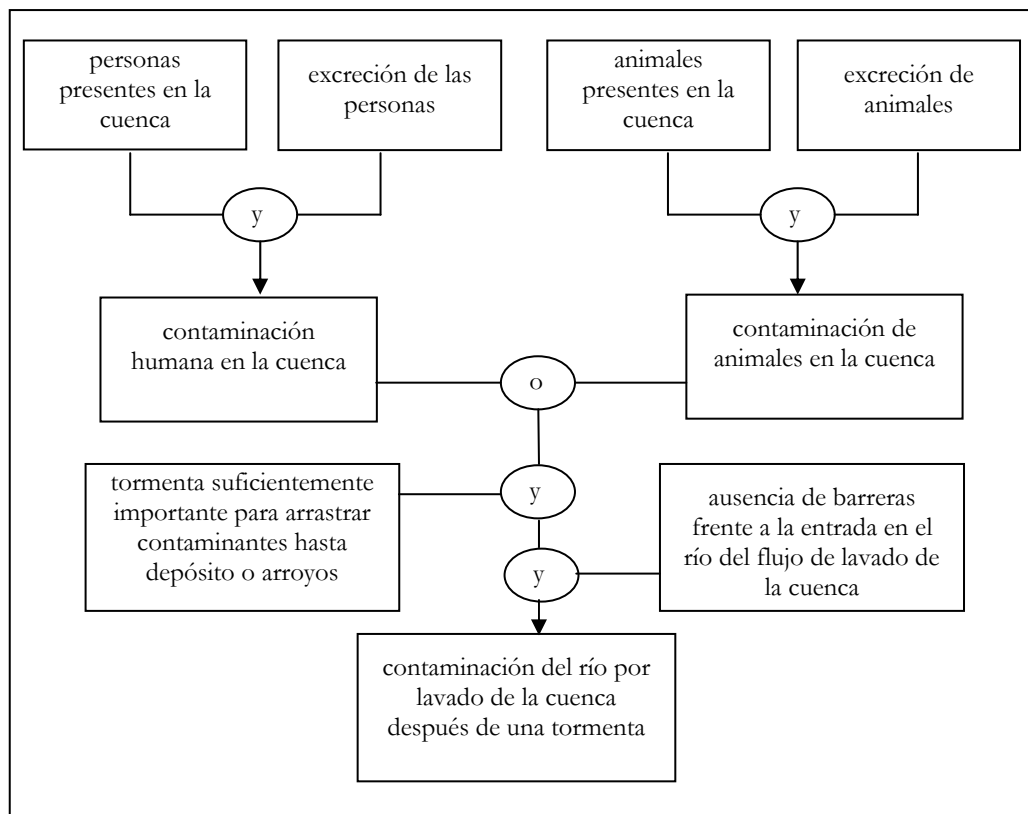


Figura 3.1. Ejemplo de “fault tree” utilizado para determinar la posibilidad de que una tormenta contamine un río (adaptado de Stevens *et al.* 1995).

Un sistema de barreras múltiples es un proceso de control integrado por una serie de etapas sucesivas. Cada etapa del sistema representa una barrera frente a los peligros. La utilización de un sistema de barreras múltiples tiene dos beneficios importantes. Primero, cada barrera contribuye a la reducción parcial del riesgo, aunque no lo elimine completamente. Segundo, el riesgo ocasionado por el fallo de una de las barreras puede ser mitigado o suprimido por las barreras posteriores.

En general, la gestión del riesgo requiere un enfoque sistemático del proceso considerado. El método HACCP fue desarrollado inicialmente para el sector alimentario y ofrece un enfoque sistemático. Según la OMS, el HACCP es un método ideal para gestionar los riesgos importantes

que comportan los diferentes usos del agua. Los autores describen cada una de las 12 etapas del HACCP (véase Figura 3.2.) aplicado a la potabilización del agua.

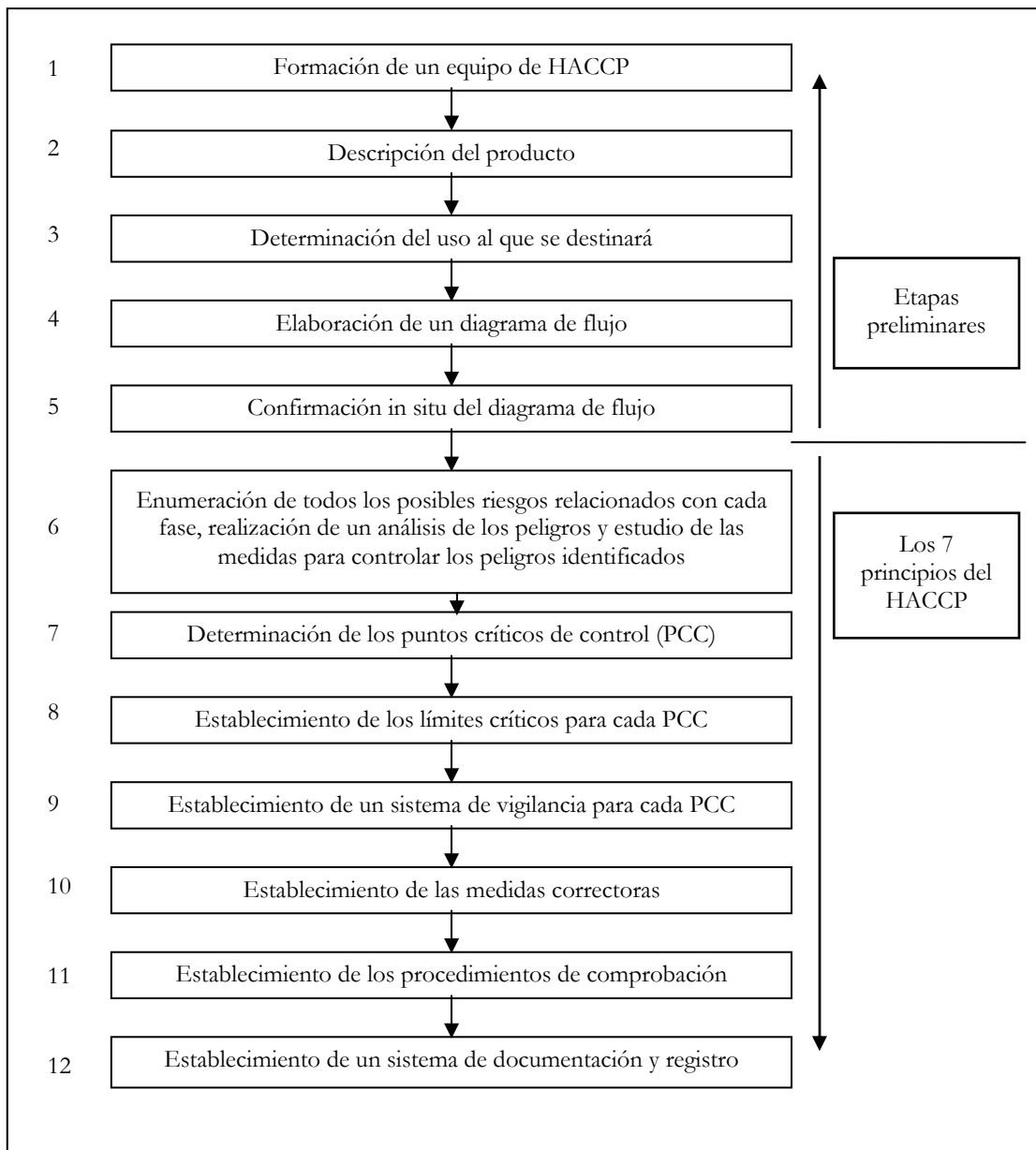


Figura 3.2 Las 12 etapas del método HACCP.

1. Etapas preliminares (1-5)

Estas etapas comprenden la formación de un equipo multidisciplinar, la elaboración y la verificación in situ del diagrama de flujo del proceso de potabilización del agua, y la descripción de las características y los usos del agua producida. Su contenido es muy similar al propuesto por Havelaar (1994).

6. Análisis de riesgos

El diagrama de flujo ofrece una orientación para identificar uno tras otro los peligros y los eventos que pueden generar situaciones peligrosas. Los autores recomiendan ordenar los peligros por orden de importancia. La importancia se suele evaluar mediante el factor de riesgo, obtenido multiplicando la probabilidad de que se registre el peligro asociado con un determinado riesgo por la gravedad de sus consecuencias. La Tabla 3.1 muestra un ejemplo del cálculo de los factores de riesgo. Este estudio recomienda tener en cuenta los peligros que tengan un factor de riesgo superior a 6.

7. Determinación de los Puntos Críticos de Control (PCC):

Un PCC es una fase del proceso sobre la que se puede aplicar un control y cuya presencia es esencial para prevenir, eliminar o reducir hasta un nivel aceptable un peligro causado por la calidad del agua.

Según la OMS, la estrategia más eficaz consiste en prevenir los peligros en su origen, ya que los microorganismos patógenos, por ejemplo, pueden reproducirse y provocar infecciones en el medio ambiente. La OMS propone el principio de “quien contamina paga” como una solución eficaz para la disminución de los vertidos contaminantes.

Los autores reiteran la importancia de un sistema de barreras múltiples. Aunque cada barrera es un Punto de Control, los más eficientes para la eliminación de los peligros son los Puntos Críticos de Control. Otras posibles barreras son los Puntos de Control de Calidad, que pueden tener importancia para asegurar la calidad general del agua, pero no para su calidad sanitaria.

Tabla 3.1. Valores propuestos para ordenar los riesgos. Tabla utilizada para la producción de agua potable en Melbourne, Australia (Carl Stivers, Parametrix, Australia).

Periodo	Impacto insignificante	Impacto pequeño	Impacto moderado	Impacto importante	Catástrofe sanitaria
Diario	5	10	15	20	25
Semanal	4	8	12	16	20
Mensual	3	6	9	12	15
Anual	2	4	6	8	10
Cada 5 años	1	2	3	4	5

8. Establecimiento de los límites críticos:

Los límites críticos han de estar referidos a parámetros medibles y diferentes de los peligros que queremos eliminar, ya que la mayor parte de estos peligros son muy difíciles de medir. Un proceso que respeta los límites críticos establecidos permite asegurar la eliminación o la reducción de los peligros hasta un nivel aceptable. Los límites pueden ser de dos tipos: límites operativos y límites críticos. Los límites operativos permiten detectar el desajuste excesivo del PCC respecto a su funcionamiento normal, y los límites críticos permiten detectar el momento en que el PCC está fuera de control.

9. Control y medidas correctoras

El sistema de control debe permitir la detección del incumplimiento de los diferentes límites. La frecuencia de los controles dependerá del ritmo de variación del parámetro analizado. El sistema de control debe asegurar que tras la detección de un incumplimiento se proponga la aplicación de una acción correctora. Esta acción habrá de estar predefinida y ser de eficiencia probada.

Por otra parte, es necesario asegurar que el método HACCP se aplica adecuadamente. Para ello, los autores recomiendan adoptar los criterios siguientes:

1. Una fuerte implicación de todos los miembros de la organización.
2. Unas buenas prácticas operativas, descritas en los procesos estandarizados para el mantenimiento, las reparaciones y las operaciones.
3. Una formación continua de los empleados sobre la correcta explotación y mantenimiento de las instalaciones.
4. Una trazabilidad de las materias primas y de los productos.
5. Un control y una utilización de los documentos esenciales, tales como la lista de control y el registro de datos.
6. Una auditoría periódica para asegurar el buen seguimiento del método HACCP.

APPLICATION OF HACCP TO DRINKING WATER SUPPLY (Havelaar, 1994):

Objetivos

Havelaar considera al agua potable como un alimento, porque parte de ella se consume directamente (agua de bebida) o sirve para la elaboración de otros alimentos. Considerando que el Codex Alimentarius recomienda la aplicación del método HACCP a todos los alimentos, Havelaar propone aplicar el método HACCP a la producción y la distribución de agua potable.

Havelaar redactó este artículo de modo que pudiera ser entendido por lectores sin conocimientos previos del HACCP. El objetivo principal del artículo es describir la forma de aplicar las etapas del HACCP a la producción de agua de abastecimiento, desde la captación del agua bruta hasta su distribución como agua potable. Havelaar propone diversas listas de PCC, de peligros y de medidas preventivas y correctoras para las diferentes etapas del HACCP.

Método

Havelaar publicó este artículo en 1994 en la revista Food Control, volumen 5, número 3, pp145-152. Es un artículo teórico sin base experimental, pero basado en otros artículos relativos a la eliminación de los peligros del agua y al método HACCP. Además, este trabajo de Havelaar permite comparar e integrar su propuesta con otros métodos de gestión de calidad como el Total Quality Management (TQM), el Quantitative Risk Assessment (QRA) y la ISO 9000.

Resumen

Etapas preliminares

1. Etapa 1: formación de un equipo

La primera etapa consiste en la formación de un equipo multidisciplinar, dotado de los conocimientos suficientes del HACCP y de los procesos de captación, de producción y de distribución de agua.

2. Etapa 2: descripción del producto

3. Etapa 3: identificación de los usos del producto

Aunque el producto “agua de abastecimiento” tiene usos muy diversos, el interés de Havelaar (1994) se centra únicamente en el agua de bebida. Havelaar distingue el consumo de agua hervida frente al de agua no hervida. El segundo caso comporta tanto riesgos microbiológicos como químicos. También es importante conocer el consumo y las particularidades de la población (inmunodeficiencia de las mujeres embarazadas, por ejemplo) para poder determinar los límites críticos.

4. Etapa 4: elaboración de un diagrama de flujo

5. Etapa 5: confirmación in situ del diagrama de flujo

Havelaar identificó un diagrama de flujo global y generalizable a cada instalación. El diagrama consta de tres fases importantes que son la captación, el tratamiento y la distribución del agua.

Etapa 6: análisis de los peligros

El objetivo de esta etapa es analizar todos los posibles peligros de tipo físico, químico y biológico relacionados con cada fase del proceso, basándose en el diagrama de flujo elaborado en las etapas 4 y 5. Este análisis permite precisar la frecuencia y la gravedad de los peligros identificados, utilizando una tabla similar a la Tabla 3.1. Es necesario identificar los posibles medios disponibles para eliminar o reducir cada peligro hasta un nivel aceptable. Estos medios pueden constar de diversos procesos de tratamiento, cada uno de los cuales reduce un cierto porcentaje del peligro existente. Además, un proceso determinado puede contribuir a reducir diversos peligros. Por esta razón, Havelaar (1994) hace hincapié en la importancia de un sistema de barreras múltiples.

Havelaar (1994) identifica tres situaciones de riesgo biológico importantes:

1. La contaminación de la fuente de abastecimiento por materia fecal.
2. La contaminación del agua tratada durante su permanencia en la red de distribución, incluyendo los depósitos, debido a la realización de obras, por ejemplo.
3. El crecimiento de bacterias o amebas en el agua bruta o tratada, debido a la eutrofización, al calor o a otras causas.

Para establecer la lista de los peligros aplicables en cada situación de riesgo, Havelaar recomienda obtener información relevante de diversas fuentes bibliográficas:

1. Listas de epidemias causadas por el agua de abastecimiento o de otros usos.
2. Estudios de laboratorio. Son importantes, ya que no es suficiente basarse en los datos epidemiológicos conocidos. Aunque *Cryptosporidium* fue identificado como un peligro en 1976, la primera epidemia se registró en 1984.

Como resultado de esta etapa, Havelaar identifica una primera lista de riesgos biológicos.

Etapa 7: establecimiento de los Puntos Críticos de Control (PCC)

La identificación de los PCC es importante porque estos serán las etapas en las que los esfuerzos requeridos para el control del proceso serán más importantes. La etapa de desinfección química era el único PCC en las antiguas plantas de tratamiento de agua. Sin embargo, la disminución progresiva de la cloración, motivada por la formación de subproductos, y el descubrimiento de patógenos resistentes a la desinfección con cloro han hecho que otras etapas del tratamiento tengan ahora una importancia adicional y hayan pasado a ser nuevos PCC.

Havelaar identifica los PCC aplicables a la mayoría de las instalaciones, distinguiendo entre los diversos tipos de recursos hídricos utilizados, bien sean aguas subterráneas o aguas superficiales. Además, identifica medidas preventivas para cada PCC. Los principales PCC son los siguientes:

1. Aguas subterráneas
La percolación del agua a través de los poros del suelo es una barrera efectiva para los peligros y está considerada como un PCC en el caso de que no haya desinfección posterior. En caso de existir desinfección, esa etapa dejaría de ser un PCC y la etapa de desinfección pasaría a ser el verdadero PCC.
2. Aguas superficiales
Havelaar distingue dos PCC. El primer PCC es la etapa de coagulación–floculación–sedimentación–filtración. Esta etapa elimina numerosos microorganismos y su eficacia puede ser controlada mediante el registro en continuo de la turbiedad o del número de partículas del agua. El segundo PCC es la desinfección del agua.

Se pueden definir otros PCC menos importantes asociados con el crecimiento de bacterias o de amebas en la red de abastecimiento. No obstante, esos crecimientos se pueden evitar impidiendo la recontaminación del agua tratada.

Etapa 8: establecimiento de los límites críticos para cada PCC

Los límites de control pueden variar notablemente, dependiendo del experto que los proponga, por lo que suelen ser con frecuencia objeto de debate y de discusión. Havelaar (1994) recomienda la utilización del QRA (Quantitative Risk Assessment) para establecer estos límites. Las diferentes etapas del QRA son:

1. Elaborar la lista de peligros, igual que en el caso del HACCP. Esta lista puede ser la misma que la lista elaborada en la etapa 6 del HACCP pero, Havelaar (1994) sugiere que se mantengan solamente los peligros más significados, es decir los que se eliminan difícilmente y los que afectan mucho a los seres vivos.

2. Calcular la tasa de exposición a los peligros de la lista precedente. Una forma simplificada de calcular esta tasa consiste en multiplicar la concentración de cada uno de esos peligros asociados con el agua por la cantidad de agua ingerida. La dificultad práctica de determinar con exactitud la concentración de patógenos, que suele estar por debajo de los límites de detección, hace necesario la utilización de modelos basados en ciertas hipótesis.
3. Establecer la relación dosis–respuesta para cada peligro. Los estudios para determinar estas relaciones dosis–respuesta se basan en ensayos con voluntarios.
4. Combinar las etapas 2 y 3 para estimar la probabilidad de infección.
5. Valorar la aceptación o el rechazo del riesgo, modificando los límites y el proceso de producción del agua si es necesario.

Havelaar no propone valores límites, porque considera que son específicos de cada instalación. En cambio, propone diversos parámetros para definir estos límites, tales como la turbiedad del agua en el proceso de filtración, y la concentración de desinfectante residual, la temperatura y el pH en el proceso de desinfección.

AUSTRALIAN DRINKING WATER GUIDELINES – Appendix A1 (Propuesta - Julio 2002 - NHMRC)

Objetivos

Este documento es un anejo a las recomendaciones elaboradas para la producción de agua potable en Australia. El objetivo de este anejo es proponer una guía para la gestión de los riesgos sanitarios propios de los sistemas de producción y de distribución de agua potable.

Método

Es importante destacar que esta guía fue publicada en el año 2002, después de varios años de aplicación del HACCP en diversas ciudades de Australia, entre las que cabe mencionar Sydney y Melbourne como las más importantes. Esta guía incorpora una notable experiencia sobre el tema y está ilustrada con numerosos ejemplos.

El método propuesto para la gestión de riesgos es similar al HACCP, aunque sin los principios 6 y 7 (Establecer procedimientos de comprobación para confirmar que el método HACCP funciona eficazmente - Establecer un sistema de documentación sobre todos los procedimientos y los registros apropiados para estos principios y su aplicación). En cambio, los autores añaden otras etapas relevantes, como la elaboración de un análisis de coste–beneficio para identificar la mejor alternativa de tratamiento. Es un método elaborado especialmente para su aplicación en agua potable.

Resumen

Etapas 1: análisis del sistema de abastecimiento

El objetivo de esta etapa es definir un diagrama de flujo de todo el sistema de abastecimiento: desde la obtención del agua bruta hasta el tratamiento y la distribución del agua tratada. El objetivo es facilitar una visión y una comprensión global del sistema. Cada etapa de este sistema tiene propiedades muy importantes para entender las características del agua producida. La guía propone una lista preliminar de propiedades a tener en cuenta.

Etapas 2: análisis de los datos históricos de la calidad del agua

El análisis de los datos históricos permite una mejor comprensión del sistema de abastecimiento, así como la identificación de los peligros que pueden surgir por un fallo de las instalaciones.

Además permite detectar los aspectos del sistema que pueden necesitar mejoras. Este análisis debe incluir especialmente acontecimientos particulares.

Etapa 3: identificación de los peligros

El objetivo de esta etapa es identificar todos los peligros presentes en la materia prima (agua bruta) y los peligros generados por los diversos acontecimientos. Es importante seguir un proceso estructurado para no olvidar ciertos peligros. Los peligros deben ser identificados en cada punto del diagrama de flujo, incorporando información sobre ellos. La guía presenta una lista de los posibles peligros asociados con cada etapa del sistema.

Etapa 4: análisis de riesgos

Esta etapa consiste en ordenar los peligros identificados durante la etapa 3 por orden de importancia. Esta clasificación se realiza evaluando la frecuencia con que se registra cada peligro (en una escala de 1 a 5) y su gravedad (en una escala de 1 a 5). La combinación de la frecuencia y la gravedad de los peligros determina su importancia relativa. Para ello, se pueden utilizar las tablas normalizadas de Australia y Nueva Zelanda (AS/NZS 4360, 1999), similares a la tabla 3.1. Este tipo de análisis vendrá limitado con frecuencia por la incertidumbre asociada a cada parámetro. La incertidumbre viene causada por dos factores: la variabilidad y la falta de conocimientos. La variabilidad viene determinada por las variaciones temporales y espaciales de los parámetros. Esas variaciones (concentración de contaminantes o número de personas expuestas, por ejemplo) no se pueden conocer con exactitud. La falta de información científica específica es la causa más frecuente de la incertidumbre de los conocimientos necesarios.

Tabla 3.2. Estimación de la eficacia de un sistema de barreras múltiples. (Adaptado de Australian Drinking Water Guidelines, 2002)

Organismo	Estimación de la reducción del número de patógenos entéricos en unidades logarítmicas.				Estimación de la eliminación total en unidades logarítmicas
	Protección de la fuente	Detención en depósito	Filtración	Desinfección	
Bacteria	0,5 – 1	1 por cada 10 días de detención	0,5 – 1	Eliminación completa posible con dosis y C.t suficientes	Eliminación completa posible
Virus	Eliminación completa de los virus entéricos humanos si no hay residuos humanos	1 – 2 si el tiempo de retención es largo (1 – 6 meses)	Convencional: 2 Directa: 1 Membrana: >4	Cloro, UV, ozono y dióxido de cloro: 2	5 posible
<i>Giardia</i>	0,5 – 1	1,5 – 2,5 si el tiempo de retención es largo (1 – 6 meses)	Convencional: 2,5 Directa: 2 Membrana: >4	Cloro: 1 – 2 Ozono y dióxido de cloro: 2	5,5 – 8 posible
<i>Cryptosporidium</i>	0,5 – 1	1 – 2 si el tiempo de estancia es largo (1 – 6 meses)	Convencional: 2 DDAF: 2 Directa: 2 Membrana: >4	Ozono: 0,5 – 2 Dióxido de cloro: 0,5 – 1 UV: 3 Cloro y cloraminas: ineficiente	3,5 – 7 posible

Etapa 5: medidas preventivas y barreras múltiples

El nivel de protección adecuado para controlar un peligro debe ser proporcional al riesgo asociado a dicho peligro. Para controlar los peligros, los autores recomiendan la utilización de un

sistema de barreras múltiples y otro de medidas preventivas que permitan reducir la contaminación del agua bruta. La tabla 3.2 muestra un ejemplo del sistema de barreras múltiples propuesta por los autores, en la que se incluye una estimación de la eficacia de cada una de ellas para limitar los correspondientes peligros microbiológicos.

Etapa 6: evaluación de medidas preventivas alternativas

Esta etapa es un análisis costes-beneficios en la que se comparan diferentes posibilidades de tratamiento desde un punto de vista económico.

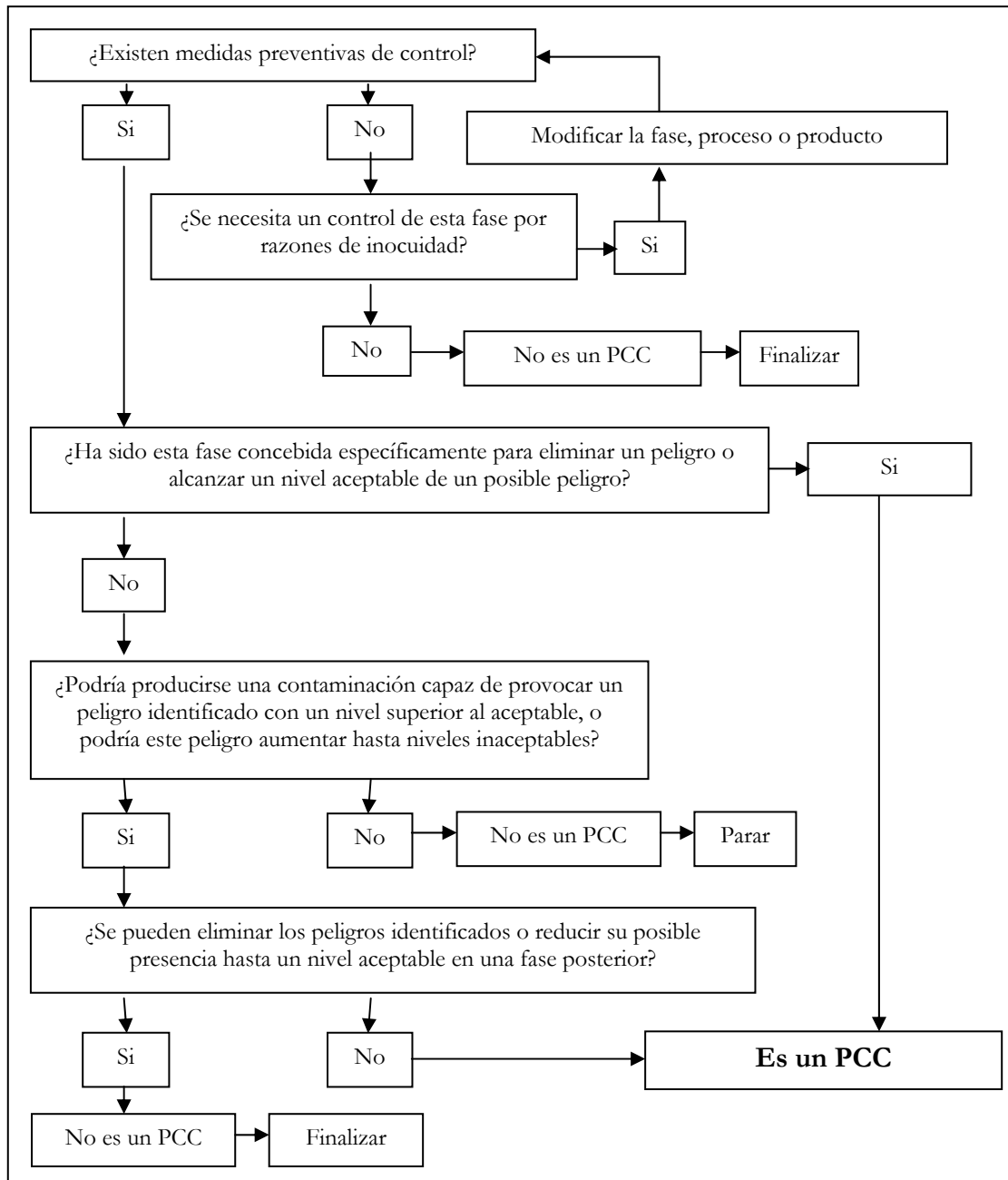


Figura 3.3. Ejemplo de un diagrama de decisión. (Codex Alimentarius, segunda edición, 1999)

Etapa 7: Puntos Críticos de Control

Los PCC representan los puntos del proceso en que el control debe ser reforzado. Para determinar estos puntos, la guía recomienda emplear un diagrama de decisión (Véase Figura 3.3).

Los PCC dependen del peligro considerado y requieren un sistema de control, unos límites críticos y unas medidas correctoras para cuando se registre una desviación del sistema.

A continuación se describe la evaluación del proceso de cloración del agua, considerándolo como un PCC. El proceso de cloración de un agua es un PCC por dos razones principales:

1. Está diseñado para eliminar numerosos microorganismos patógenos.
2. Produce subproductos de la desinfección (DBP) cuando se utilizan altas concentraciones de cloro en presencia de materia orgánica disuelta.

Por lo tanto, el control de la cloración es primordial y requiere la definición de un sistema de medida, unos límites críticos y unas medidas correctoras. La Tabla 3.3 resume las características de este PCC.

Tabla 3.3. Ejemplo de la ficha resumen de un PCC: el proceso de cloración del agua. (Adaptado de Australian Drinking Water Guidelines, 2002)

Peligros			
Bacterias, virus y <i>Giardia</i>			
Subproductos de la desinfección (DBP)			
Control del proceso			
1. Dosificación de cloro.			
2. Caudal.			
3. Ajuste del pH.			
Control operacional			
Parámetro	Límites guías	Límites críticos	Método de control
Cloro residual	> 0,5 mg/L	La concentración menor posible para cumplir el C.t (concentración por tiempo de contacto) mínimo con el caudal máximo.	Control en línea y continuo del cloro residual, del caudal, y del pH, dotado de alarma. Control frecuente de la turbiedad, la temperatura y la demanda de cloro (calculada).
pH	6,5 – 7,5		Registro de los datos.
Caudal	Debe cumplir el tiempo de contacto mínimo.		
Dosis de cloro			
Turbiedad	< 1,0 NTU		
Temperatura			
Acciones correctoras			
Cualquier fallo en los valores guía o los límites críticos debe comportar diversas acciones correctoras:			
1. Inspección y calibración de los equipos.			
2. Ajuste del caudal.			
3. Ajuste de la dosis de cloro.			
4. Mejora del control e incremento del número de muestras y ensayos.			
5. Nuevo cálculo de los valores de C.t.			
6. Implantación de un proceso de mantenimiento no planificado.			
7. Aplicación de una desinfección secundaria o incremento la desinfección utilizada.			
8. Utilización de un abastecimiento alternativo o desvío del agua tratada.			
Verificaciones			
1. Calibración y mantenimiento de los equipos.			
2. Satisfacción del consumidor.			
3. Evaluación y auditoría.			
4. Control de la calidad del agua potable.			

La tabla 3.4 muestra los valores recomendados (American Water Works Association, 1999) para el tiempo de contacto C.t.

Tabla 3.4. Valores de C.t recomendados para la desinfección con cloro libre (mg.min/L).

	pH	2 ulog de inactivación		3 ulog de inactivación	
		10°C	20°C	10°C	20°C
<i>Giardia</i>	7.0	75	37	112	56
	8.0	108	41	162	81
Virus	6.0 – 9.0	3	1	4	2

PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA POTABLE (Savy, 1999)

Objetivos

El objetivo principal de este informe es la elaboración de una guía para la aplicación del método HACCP a la producción y la distribución de agua potable. Antes de realizar esta guía, el autor evaluó la posibilidad de aplicar el HACCP. Para ello, comenzó realizando una síntesis del HACCP y continuó después estudiando la gestión de la calidad del agua según la norma ISO 9002 y las legislaciones europea y francesa, y terminando con una comparación entre el método HACCP y otros sistemas de vigilancia utilizados por la compañía Générale des Eaux.

Método

Este informe es el proyecto fin de carrera del alumno Olivier Savy, ingeniero de la École Nationale de la Santé Publique (Rennes, Francia). Lo realizó entre mayo y agosto de 1999 en el Departamento de Control de la Calidad del Producto de la Générale des Eaux de Paris.

El informe contiene un estudio bibliográfico y muy teórico en el que se incluye documentación de la compañía Générale des Eaux y de las reglamentaciones oficiales europea y francesa.

Para valorar la aplicabilidad del método HACCP, el autor estudió cada uno de los siete principios del HACCP, comprobando su cumplimiento durante la producción y la distribución de agua potable. La guía así elaborada consiste en una transposición del plan de trabajo en doce etapas del HACCP, tratando de profundizar en cada una de ellas para el caso concreto de la producción y la distribución de agua potable.

Resumen

El informe contiene una comparación de los métodos de vigilancia y de control de la calidad del agua que está desarrollando la Générale des Eaux para estudiar sus similitudes con el HACCP. El informe menciona otros dos posibles métodos: 1) la lógica difusa y 2) los programas de vigilancia analítica del agua. Desde el punto de vista sanitario, el HACCP es el sistema de vigilancia y de control de procesos más completo de que se dispone, porque tiene en cuenta todos los peligros sanitarios y trata de controlarlos. Los otros sistemas de vigilancia pueden integrarse dentro del HACCP.

La guía incluida en la segunda parte del informe es muy teórica. Por ejemplo, la cuarta etapa del plan de trabajo está dedicada a la elaboración de un diagrama de fabricación y de distribución. La guía no contiene ningún diagrama, sino una explicación de lo que debe contener esta etapa y de la forma en que se debe proceder en un caso muy general, como por ejemplo cuando menciona que se debe recurrir a los planos de las instalaciones. La sexta etapa, dedicada al análisis de los peligros y a las medidas preventivas, es más completa: el proceso está dividido en tres partes (captación del agua, potabilización y distribución), enumerándose los distintos peligros aplicables a cada una de ellas (químicos y microbiológicos), pero sin aportar más detalles.

SÍNTESIS

El objetivo básico de estos cuatro documentos es proponer un método de gestión de los riesgos sanitarios que comporta el consumo de agua potable. Los métodos propuestos se ajustan al método HACCP. Los documentos están redactados en forma de guías. Los documentos tienen orígenes muy diversos: un artículo científico (Havelaar, 1994), un informe basado en la experiencia de una empresa privada (Savy, 1999), las recomendaciones de un organismo internacional (OMS, 1999) y las recomendaciones de un organismo público australiano (NHMRC, 2002). Esta gran diversidad muestra el interés tan generalizado que despierta la aplicación del HACCP en la producción de agua potable. El estudio más antiguo es el de Havelaar, al que todos los demás hacen referencia con frecuencia.

Con excepción de la guía para la producción de agua potable en Australia, los autores se ajustan exactamente al plan de 12 etapas del HACCP propuesto por el Codex Alimentarius. Los autores de la guía australiana han modificado este plan para adaptarla especialmente a la producción y la distribución de agua potable. Los trabajos de la OMS y del gobierno australiano, al ser más recientes, se basan en diversos casos concretos de aplicación. Los demás estudios son básicamente teóricos. A continuación se analizan las diferencias de cada una de las etapas.

1. Etapas preliminares

Estas etapas son muy similares entre las diferentes guías estudiadas. En realidad, estas etapas no tienen por qué ser diferentes entre unas guías y otras. Sin embargo, las etapas relativas a la descripción y al uso del producto aparecen más desarrolladas en la guía de Savy (1999).

Todos los documentos estudiados subdividen el sistema de producción y de distribución del agua en tres etapas importantes: 1) la captación del agua bruta, 2) el tratamiento del agua, y 3) la distribución del agua tratada. No es posible hacer un único diagrama preciso, pues existen numerosas alternativas. Savy (1999) y el NHMRC (2002) indican una lista de los parámetros que se deben especificar en cada etapa del diagrama.

2. Análisis de peligros y riesgos

Los diferentes autores subdividen esta etapa en dos o tres apartados diferentes: 1) identificar y priorizar los peligros, 2) analizar los riesgos y clasificarlos por orden de importancia, y 3) implantar las medidas preventivas. La guía australiana asigna estos tres apartados a tres etapas distintas. Los estudios de Havelaar (1994) y Savy (1999) consideran la tarea de priorizar los riesgos como una alternativa opcional.

Para listar los posibles peligros, las guías recomiendan seguir paso a paso un diagrama de flujo. Havelaar (1994) propone diversos medios para elaborar las listas de peligros, mientras que los demás autores proponen listas de peligros concretos asociados a cada fase del proceso.

El objetivo del análisis de riesgos es identificar los peligros más importantes. Para clasificar la importancia de los peligros, todos los autores, excepto Havelaar (1994), recomiendan la utilización de una tabla similar a la Tabla 3.1. Esta etapa permite descartar los peligros de escasa importancia y centrar el resto del estudio en los peligros más relevantes. La dificultad de este análisis reside en la incertidumbre propia del conocimiento relativo de los diferentes parámetros.

Todos los documentos estudiados recomiendan un proceso de producción de agua potable basado en un sistema de barreras múltiples, en el que las fases de pre-tratamiento forman parte del sistema. Los diferentes documentos proponen listas de medidas preventivas, siendo las más importantes las dirigidas a proteger el agua bruta frente a su posible contaminación.

3. Establecimiento de los PCC

Cada uno de los autores estudiados propone un método diferente para identificar los PCC, junto con diversos ejemplos. Todos los autores suelen recomendar el uso de un diagrama de decisión para facilitar la determinación de esos puntos (Véase Figura 3.3). Havelaar propone una lista con los PCC más significativos que se suelen establecer en una planta de tratamiento convencional del agua, en función del origen del agua (superficial o subterránea). Los otros autores identifican solo los puntos más importantes del proceso, como la fase de desinfección por ejemplo.

4. Establecimiento de límites críticos

Ninguno de estos estudios llega a establecer los límites críticos, por dos razones principales: 1) los límites críticos son específicos de cada instalación, y 2) existe una notable incertidumbre en cuanto a los diversos parámetros a considerar. Los autores proponen diversos métodos para establecer estos límites: Havelaar (1994) propone la aplicación del QRA, mientras que la OMS (1999) recomienda este método para caracterizar los riesgos, pero no lo incluye directamente en su guía sobre el HACCP.

5. El HACCP en la producción de agua potable

La aplicación del HACCP al proceso de producción de agua potable está justificada por numerosas razones. La más importante es la voluntad de reducir los riesgos sanitarios asociados con el consumo de este producto. Diversos gobiernos e instituciones exigen que los productores de agua potable sigan un plan o un método previamente establecido para gestionar los riesgos. La UE, en su directiva 98/83/CE sobre el agua potable, insiste sobre el aspecto sanitario del agua. La legislación australiana (*Drinking Water Act*, 2003) exige una gestión de los riesgos sanitarios del agua potable inspirada en el HACCP. El HACCP responde bien a las exigencias que los diversos gobiernos aplican a los productores de agua, tras haber mostrado su eficacia en el sector agroalimentario.

Existen numerosos puntos comunes entre el HACCP y la norma ISO 9002, empleada por un número cada vez mayor de países. La única aportación del HACCP respecto a la norma ISO 9002 es el análisis de los peligros y la determinación de los puntos críticos. Además, el HACCP permite responder al artículo 9 (control del proceso) de la norma ISO 9002. Por esta razón, la aplicación del HACCP en las instalaciones certificadas con la norma ISO 9002 no conlleva grandes dificultades.

Además, la comisión del Codex Alimentarius ha incorporado recientemente al agua potable como un elemento de su lista de productos alimentarios. Desde ese momento, el agua de abastecimiento está considerada como un producto agroalimentario y por ello se recomienda la aplicación del HACCP en su proceso de producción.

6. Aplicación del HACCP

El HACCP se está aplicando desde hace varios años en diversos países con notable éxito. La implantación de la legislación australiana de julio de 2004 ha hecho que a la aplicación pionera en las ciudades de Sydney, Melbourne y Brisbane en Australia, se hallan unido muchas ciudades que están desarrollando planes de gestión de tipo HACCP. En Francia, el sindicato de productores y distribuidores de agua (SPDE) ha elaborado una guía de aplicación del HACCP y las grandes empresas de agua están adoptando este modo de gestión en sus instalaciones. En Suiza, la ley requiere la implantación de un sistema de control de calidad con un análisis de peligros y de control de riesgos. Como respuesta a estas nuevas exigencias, la Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux (Julio 2003) ha elaborado una guía para la aplicación de un método de gestión de los riesgos basado en el HACCP.

Las recomendaciones propuestas por instituciones internacionales como la OMS o la comisión del Codex Alimentarius han hecho que el HACCP se convierta en una nueva norma de gestión de los riesgos sanitarios del agua de abastecimiento. Cabe pensar que este método de gestión de riesgos será adoptado por un número creciente de instalaciones en un futuro próximo.

REUTILIZACIÓN DE AGUAS Y COMPOSTAJE DE FANGOS

Aunque existen numerosas referencias bibliográficas sobre la aplicación del HACCP en la producción de agua potable, son escasos los estudios relativos a la aplicación del HACCP en otras facetas del ciclo del agua. Es evidente que la gestión de los riesgos sanitarios asociados con el uso del agua debe aplicarse al ciclo hidrológico completo. Por otra parte, los autores de los estudios relativos al agua potable insisten en la importancia de proteger las aguas brutas frente a la contaminación, cuando sea posible, y esta protección comienza con una depuración fiable y eficaz de las aguas residuales. La regeneración es una etapa adicional a la depuración. El agua regenerada, especialmente cuando se aplica para la recarga de acuíferos, requiere una visión global del ciclo hidrológico y por lo tanto de la gestión de los riesgos sanitarios.

Los estudios analizados a continuación muestran la aplicación del método HACCP para gestionar los riesgos sanitarios propios de diversas facetas del ciclo hidrológico. Los ámbitos de aplicación del HACCP pueden ser muy diferentes: recarga de acuíferos, compostaje de fangos procedentes de EDAR, o reutilización de las aguas de proceso en la industria agroalimentaria. La faceta más evidente y común entre todos estos campos es que los peligros sanitarios más importantes son los derivados de la calidad de la materia prima, que es generalmente un agua residual depurada y regenerada.

HACCP (HAZARD ANALYSIS AND CRITICAL CONTROL POINT) TO GUARANTEE SAFE WATER REUSE AND DRINKING WATER PRODUCTION - A CASE STUDY. (Dewettinck, Van Houtte, Geenens, Van Hege, y Vertstraete, 2001)

Objetivos

Dewettinck y col. (2001) propusieron la aplicación del HACCP a un ciclo completo del agua: la producción de agua potable a partir de un acuífero, la distribución del agua tratada, la depuración y la regeneración de las aguas residuales, y la recarga del mismo acuífero con el agua regenerada. Considerando que se había alcanzado el límite de producción del acuífero, la mejor solución para seguir abasteciendo a la población con agua potable podía ser su recarga con agua regenerada. El objetivo principal de este estudio fue determinar los riesgos microbiológicos más importantes derivados de la reutilización de agua, utilizando el HACCP. Otro de los objetivos del estudio fue identificar un modo de controlar en continuo la calidad microbiológica del efluente secundario de la depuradora, antes del tratamiento terciario de regeneración.

Método

Dewettinck y col. (2001) hicieron su estudio en Bélgica en colaboración con la compañía de distribución de agua de Veurne-Ambacht, y publicaron sus resultados en la revista *Water Science and Technology* (Vol. 43, No. 12, pp. 31-38, 2001). Los autores seleccionaron un tipo de tratamiento terciario y aplicaron el HACCP al ciclo hidrológico obtenido. Además aplicaron un método de control de la calidad microbiológica del efluente secundario mediante pH-metro.

Resumen

En primer lugar, Dewettinck y col. (2001) identificaron las características de un proceso adecuado de regeneración del agua, que pudiera aplicarse tras una depuración convencional mediante fangos activados. Este proceso tenía que cumplir tres requisitos:

1. No podía contener desinfección con cloro.
2. El agua regenerada debía tener una gran calidad, de modo que no se deteriorara la calidad del acuífero utilizado para la recarga. Por este motivo, si el efluente secundario tenía una cantidad excesiva de sales y nutrientes debía ser sometido a un tratamiento específico.
3. La superficie disponible para la construcción de la planta de regeneración era limitada.

La Figura 3.4 indica la tecnología escogida. Se planteó una filtración mediante membranas de microfiltración. Un 90% del caudal microfiltrado se sometía a un proceso de ósmosis inversa, con objeto de desinfectar el agua y de reducir su contenido de sales, mientras que el 10% restante se sometía únicamente a una desinfección con luz UV. El proceso de desinfección con luz UV no reduce el contenido de sales, por lo que el agua regenerada resultante del proceso de mezcla final contiene una cierta salinidad.

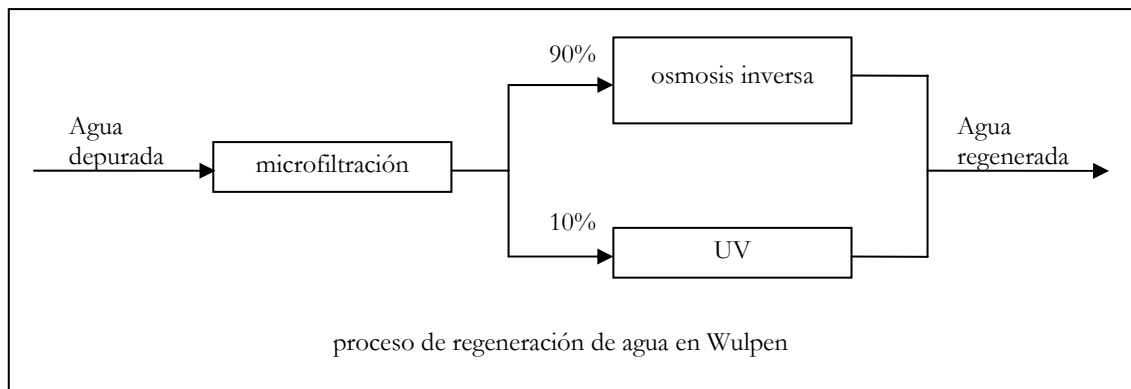


Figura 3.4. Tecnología adoptada en la planta de regeneración de agua de Wulpen, Bélgica. (Dewettinck y col., 2001)

El agua regenerada obtenida de este modo no presenta peligros microbiológicos. Además, el proceso de infiltración utilizado para la recarga del acuífero reduce aún más los riesgos de contaminación microbiológica. En definitiva, el agua se somete a un proceso de tratamiento dotado de barreras múltiples, cuyos efectos sinérgicos proporcionan un alto nivel de fiabilidad con respecto a la eliminación de los microorganismos patógenos.

Para analizar la eficiencia del proceso, Dewettinck y col. (2001) escogieron dos microorganismos indicadores, *Cryptosporidium* y *Giardia*, caracterizados por su gran resistencia a los procesos de desinfección. El análisis del proceso se basó en las siguientes hipótesis:

1. Las diferentes barreras se suponen independientes entre sí.
2. La eficacia logarítmica de la inactivación microbiana de las etapas sucesivas es aditiva.
3. La concentración de microorganismos y su eliminación se suponen constantes en cada una de las etapas.

Aplicación del HACCP

Dewettinck y col. (2001) aplicaron el método HACCP al ciclo completo del agua. Identificaron los puntos críticos y los puntos de atención (PA, Point of Attention), establecieron los límites críticos, los medios de vigilancia y las medidas correctoras. Un PA es una etapa o un factor del proceso que debe ser controlado, pero que no tiene la importancia de un PCC. Las características

propias de los PA y los PCC de los procesos de depuración y de regeneración del sistema de tratamiento adoptado aparecen resumidos en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. El método HACCP aplicado a la planta de regeneración de agua de Culpén (Dewettinck y col., 2001).

Etapa del proceso	PCC & PA	Peligro	Vigilancia	Medida correctora
Efluente secundario	PA 1	Presencia de microorganismos patógenos	pH-metro	Vertido en un canal
Microfiltración MF	PCC 1	Ruptura de la membrana	Contador de partículas Conductividad eléctrica	Supresión del módulo Cambio de membrana
Ósmosis inversa OI	PCC 2	Desintegración de la membrana	Contador de partículas Conductividad eléctrica	Supresión del módulo Cambio de membrana
UV	PCC 3	Protección frente a la absorbencia Pérdida de potencia de la lámpara	Turbiedad Transmitancia UV Edad de la lámpara	Retro-alimentación directa Verificar la MF Cambio de lámpara

Análisis de peligros y medidas preventivas

Los peligros sanitarios del proceso estudiado son los siguientes:

1. El peligro más evidente es la presencia de microorganismos patógenos en la materia prima, es decir en el agua residual depurada.
2. Otros peligros son los posibles fallos de las etapas de desinfección:
 - b) Fugas de las membranas de microfiltración o de osmosis inversa que permitirían el paso de microorganismos.
 - c) Protección de los microorganismos frente a la acción de la luz UV, debido a la presencia de materia en suspensión (MES) y de materia orgánica disuelta en el efluente.

El proceso de depuración del agua se puede considerar como una medida preventiva. Si la calidad del agua depurada no alcanza un cierto nivel, no debe utilizarse para el tratamiento terciario.

Establecimiento de PCC y PA

Dewettinck y col. (2001) no identificaron ningún PCC dentro de la estación depuradora, debido a la falta de regularidad y a la ausencia de medidas de control para la eliminación de los patógenos durante el proceso de fangos activados. Sin embargo, identificaron la calidad del efluente secundario como un PA. Los PCC correspondieron a las etapas de inactivación de microorganismos patógenos, es decir, a las diferentes etapas del tratamiento terciario: microfiltración, ósmosis inversa y desinfección con luz UV. Finalmente, Dewettinck y col. (2001) calificaron la infiltración del agua regenerada en el acuífero como un PA.

Establecimiento de límites críticos

Dewettinck y col. (2001) consideraron una tasa de infección de un caso por 10.000 habitantes y año, suponiendo que cada habitante bebe 1 litro de agua al día. La aplicación del método QRA a este caso permitió obtener unos límites de tolerancia para los virus entéricos, *Giardia* y

Cryptosporidium de $4,0 \times 10^{-7}$, $1,4 \times 10^{-5}$ y $6,5 \times 10^{-5}$ unidades por litro de agua potable, respectivamente. Estos límites de calidad se pueden alcanzar con un cierto grado de seguridad en el efluente terciario obtenido con el proceso de regeneración adoptado. La infiltración en el acuífero añade un margen de seguridad sanitaria adicional al proceso de protección de la calidad del agua.

Estrategia de control

El control de los PCC debe hacerse en régimen continuo, con objeto de poder tomar acciones correctoras inmediatas en caso de fallo. El problema práctico más frecuente es que no se dispone de medios técnicos para la medida en continuo del contenido de microorganismos patógenos o incluso de los indicadores de contaminación. No obstante, se pueden adoptar métodos de control alternativos. Es una práctica común suponer que cuando los procesos de tratamiento funcionan normalmente se puede confiar en su fiabilidad. Es decir, cuando un proceso funciona normalmente, podemos considerar que el grado de inactivación de los microorganismos se mantiene a un nivel determinado. De este modo, basta con vigilar el buen funcionamiento del proceso para obtener el resultado deseado. Los métodos de vigilancia utilizados para determinar el buen funcionamiento de un proceso aparecen resumidos en la Tabla 3.5.

Para controlar la calidad del efluente secundario, Janssens y Vertstraete (1996) desarrollaron un método basado en la medida del pH del efluente secundario. Este método permitió conocer la calidad microbiológica global del agua en un plazo de una hora, mediante una correlación con el grado de acidificación de la muestra.

APPLICATION OF HACCP TO WATER REUSE IN THE FOOD INDUSTRY

(Casani y Knöchel, 2002)

Objetivos

La regeneración de las aguas de proceso en la industria agroalimentaria puede ser una fuente de ahorro considerable de agua. No obstante, este procedimiento implica riesgos microbiológicos importantes. El objetivo principal de este artículo es elaborar un método para gestionar y eliminar estos riesgos. El método elegido por los autores fue el método HACCP. Los objetivos específicos del estudio son describir un modelo genérico de la reutilización del agua basado en el HACCP y facilitar información sobre los microorganismos patógenos presentes con más frecuencia en el agua residual y los alimentos, así como sobre los diferentes procesos de tratamiento del agua.

Método

Este estudio fue publicado en la revista Food Control (no. 13, 2002, pp. 315-327). Es un trabajo esencialmente bibliográfico, adaptado al plan HACCP de 12 etapas. Casani y Knöchel (2002) desarrollan cada una de estas etapas, adaptándolas al caso particular de la reutilización del agua en la industria agroalimentaria. La información relativa a los microorganismos patógenos y los diferentes tratamientos de agua se basa en una recopilación de diversos artículos científicos.

Resumen

Etapas preliminares

La descripción de las etapas preliminares (1 a 5) muestra las diferentes posibilidades de reutilización del agua dentro de la industria agroalimentaria. La posibilidad de reutilización del agua depende de su uso previo y de su origen (puede provenir de los alimentos mismos), así como del proceso de regeneración adoptado.

Análisis de peligros

Casani y Knöchel (2002) limitan el análisis de los peligros a una enumeración de éstos y proponen un método para listarlos. Este método se basa en el protocolo propuesto por Notermans *et al.* (1994):

1. Elaborar una lista de los microorganismos que pueden contaminar el agua tras entrar en contacto con ella, antes de su reutilización.
2. Identificar los microorganismos patógenos, mediante un análisis de las epidemias causadas por los alimentos y el agua. La OMS publica cada año un resumen de estas epidemias. Se pueden eliminar los microorganismos que nunca han causado problemas y los que son completamente eliminados en el proceso de elaboración de los alimentos.
3. Realizar una clasificación de los agentes infecciosos y los toxigénicos. La posibilidad de crecimiento en el alimento se considera solamente para los agentes toxigénicos y los infecciosos virulentos.
4. Finalmente, agrupar los microorganismos patógenos según sus propiedades comunes y localizarlos en el diagrama de flujo.

Casani y Knöchel (2002) ofrecen diversos ejemplos de microorganismos patógenos, junto con sus dosis infectivas, su modo de infección, su procedencia y su tasa de supervivencia en el agua.

Establecimiento de los PCC

Casani y Knöchel (2002) recomiendan listar los puntos de control (PC) y después utilizar un diagrama de decisión (véase Figura 3.3) para verificar si son puntos críticos (PCC) o no. Los PCC finalmente seleccionados fueron:

1. La etapa de tratamiento del agua que elimina los microorganismos patógenos. El peligro más importante de esta etapa es que se registre una incidencia en la instalación.
2. La distribución y el almacenamiento del agua regenerada. Se pueden adoptar diversos medios de control para evitar un aumento de los peligros. Por ejemplo, el agua regenerada debe utilizarse lo antes posible. Si el agua se almacena, la temperatura debe permanecer fuera del rango de crecimiento de los patógenos. No obstante, el peligro mayor es la recontaminación del agua regenerada, algo que puede evitarse adoptando medidas preventivas. Evitando la recontaminación se evita también el crecimiento de los microorganismos patógenos.

Establecimiento de límites críticos

Casani y Knöchel (2002) no identifican ni los valores de los límites críticos ni el método para calcularlos. En cambio, proponen diversos ejemplos de parámetros para los cuales se pueden fijar límites. Estos parámetros dependen del método utilizado para la desinfección del agua:

1. Ultrafiltración y microfiltración: el caudal filtrado no debe superar un cierto valor, pues de lo contrario sería indicación de que puede haberse registrado una fuga a través de las microfisuras de las membranas, haciendo que exista un riesgo real de contaminación del agua producto; la turbiedad y el número de partículas del efluente son parámetros adicionales de control.
2. Desinfección química: se debe medir el tiempo de contacto y la concentración de desinfectante residual en el efluente.

Establecimiento de un sistema de vigilancia

Para identificar un sistema de vigilancia adecuado, Casani y Knöchel (2002) recomiendan evaluar atentamente las siguientes características:

1. El rango de medida, que debe ser adecuado.
2. Las medidas realizadas, que deben ser precisas y rápidas.
3. El nivel de formación de los operadores, que debe ser adecuado.
4. El coste de los equipos.

5. La viabilidad del proceso.
6. El mantenimiento del material.
7. La legislación del país.

Ningún sistema de vigilancia basado exclusivamente en medidas de control microbiológico cumple estos requisitos. Por este motivo, la calidad microbiológica del agua debe controlarse de manera indirecta, mediante parámetros físicos o químicos. El apartado relativo al establecimiento de los límites críticos para cada PCC incluye diversos ejemplos de estos parámetros.

Establecimiento de medidas correctoras

Cuando el valor experimental de los parámetros registre una desviación con respecto a los límites establecidos, será necesario adoptar medidas correctoras como las propuestas por los autores. Estas actuaciones deben estar estandarizadas. Cuando se sobrepasan los límites críticos, hay que verificar que:

1. La causa de la desviación ha sido identificada y eliminada.
2. El PCC satisface los límites de control, después de aplicar las medidas correctoras.
3. Se han tomado medidas para evitar una nueva desviación del mismo tipo.
4. El agua de mala calidad no ha contaminado el agua de buena calidad, bien tratada.

Establecimiento de procedimientos de comprobación

El plan HACCP debe ser comprobado para asegurar su correcto funcionamiento. Los autores indican que la mayor dificultad para asegurar un correcto análisis del agua es el uso de los microorganismos indicadores, como *E. Coli*. La correlación entre la presencia o ausencia de *E. Coli* y la presencia o ausencia de patógenos no es infalible. Para el agua regenerada en la industria agroalimentaria, el Codex Alimentarius recomienda identificar las bacterias totales, los coliformes totales, los coliformes fecales, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* y *Legionella*. Esta lista de microorganismos puede cambiar en función del uso del agua.

De manera general, el proceso de comprobación consta de tres etapas:

1. Validación inicial.
2. Verificación día a día.
3. Verificación anual o cuando se registre un cambio que pueda afectar al análisis de peligros.

Establecimiento de un sistema de documentación y registro

Casani y Knöchel (2002) no hacen ninguna precisión concreta con respecto a lo indicado por el Codex Alimentarius. La documentación debe incluir el plan HACCP. El sistema de registro debe contener los protocolos de vigilancia de los PCC, las posibles desviaciones, y las medidas correctoras correspondientes, así como las modificaciones introducidas en el sistema HACCP.

EL COMPOSTAJE DE LOS FANGOS DE UNA EDAR (Grimault, 2000)

Objetivos

El objetivo principal de este informe es elaborar una guía para la aplicación del HACCP al proceso de compostaje de los fangos de depuración del agua. Los objetivos secundarios son analizar los riesgos sanitarios de los fangos, analizar el principio del compostaje, hacer una síntesis del método HACCP, y estudiar la legislación y la viabilidad de la aplicación del HACCP a diferentes instalaciones de compostaje.

Método

Este informe fue el proyecto de fin de carrera del alumno Laurent Grimault, ingeniero de la École Nationale de la Santé Publique (Rennes, Francia) que realizó entre mayo y agosto de 2000 en el centro de Angers (Francia) de la Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.

El estudio bibliográfico tiene los objetivos siguientes:

1. Describir los riesgos debidos a la presencia de microorganismos patógenos en los fangos.
2. Estudiar el principio del compostaje y su capacidad para higienizar el fango.
3. Estudiar el método HACCP.

Para evaluar la posibilidad de aplicar el HACCP, el autor utilizó directamente y de forma teórica el plan de trabajo en 12 etapas del HACCP, elaborando la guía simultáneamente. La guía así obtenida es aplicable al proceso típico del compostaje que se describe en la bibliografía.

La aplicación del diagrama de decisión del método HACCP a cada etapa elemental del esquema general del compostaje permitió al autor identificar tres puntos críticos, para los cuales describe las medidas preventivas y las correctoras, así como la manera de definir los límites críticos y los parámetros de vigilancia.

Grimault (2000) visitó 5 instalaciones de compostaje de fangos repartidas por toda Francia y evaluó la posible aplicación del HACCP en cada una de ellas. Para ello analizó las medidas de control existentes en cada instalación, con especial interés en las medidas preventivas y las medidas correctoras aplicables, y las comparó con las requeridas por la guía que previamente había realizado. Esto le permitió valorar la utilidad de la guía así como sus posibles mejoras. Las instalaciones visitadas tienen una capacidad de tratamiento próxima a las 10.000 toneladas de fango al año, excepto una pequeña instalación que trata únicamente 600 toneladas. Tres de ellas funcionan mediante aireación por volteo de pilas y dos por aireación forzada. La higienización se consigue en todos los casos gracias a la relación tiempo y temperatura, que permite eliminar los microorganismos patógenos. Además, las visitas permitieron comprobar que los PCC y las medidas preventivas determinados en la guía eran generalizables a todas las instalaciones mediante pequeñas modificaciones, pero que las medidas correctoras dependían del proceso de aireación adoptado.

El estudio teórico de los peligros se limita a los microorganismos patógenos, a partir de los conocimientos actuales, y no tiene en cuenta los microorganismos secundarios, los metales pesados o los compuestos orgánicos tóxicos. La aplicación del HACCP que propone el autor permite eliminar únicamente los riesgos microbiológicos. El autor indica que los riesgos debidos a la presencia de metales pesados y de microcontaminantes orgánicos podrían eliminarse modificando ligeramente la guía, mediante la incorporación de un PCC adicional para el control de la materia prima. Estas modificaciones son imprescindibles si se quiere obtener un producto fertilizante homologable.

SÍNTESIS

El objetivo principal de estos tres estudios es asegurar el control de los riesgos sanitarios asociados con diversos productos relacionados con el agua residual. En dos de estos casos, el producto es agua regenerada, mientras que en el tercero el producto es un compost de fangos de depuradora. Los tres estudios muestran que el HACCP es un método adecuado para gestionar los riesgos sanitarios de este tipo de actividades. Considerando el amplio ámbito de aplicación del HACCP, podemos concluir que es posible aplicarlo a la regeneración de aguas residuales que se piensen obtener mediante diferentes procesos y reutilizar en diversos usos. No obstante, ninguno de los estudios evaluados considera los riesgos químicos, especialmente en un momento histórico

en el que están adquiriendo una importancia creciente en nuestra sociedad.

Los estudios tienen también un espectro de aplicación muy amplio. El estudio de Dewettinck y col. (2001) se limita a una instalación de regeneración de agua para recarga de acuíferos, y el de Grimault (2000) a 5 instalaciones de compostaje de fangos, aunque se puede generalizar a cualquier instalación de compostaje del mismo tipo. Finalmente el artículo de Casani y Knøchel (2002) es más teórico y aborda todas las instalaciones de regeneración de agua de la industria agroalimentaria.

Las diferencias entre estos tres estudios nos permiten obtener una visión completa del HACCP. El estudio de Casani y Knøchel (2002) nos ofrece una visión muy general de la aplicación del HACCP a la regeneración del agua y nos proporciona una considerable información de interés general, mientras que los otros dos estudios nos muestran diversos ejemplos, con los detalles específicos de su aplicación concreta. Uno de los puntos interesantes del informe de Grimault (2000) es que describe bien la forma en que se desarrolló la aplicación concreta del HACCP y cómo se determinaron los PCC.

Capítulo 4

MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión bibliográfica realizada en el capítulo anterior permite definir un método con el que elaborar una guía para la aplicación del HACCP a la regeneración del agua. La gran similitud entre los diferentes estudios analizados y el objetivo de esta tesina facilita considerablemente la tarea. El método propuesto consiste en aplicar el plan de 12 etapas del HACCP, junto con un análisis de las necesidades de cada etapa (véase Figura 3.2.). El contenido de ese plan de referencia debe considerarse como una orientación, ya que no ha sido elaborado específicamente para la regeneración del agua. No obstante, es posible modificarlo de modo que se adapte al caso concreto de esta tesina.

El plan de trabajo se inicia con la elección del ámbito de aplicación. La guía de aplicación del HACCP se puede desarrollar siguiendo diferentes métodos; debe elegirse uno y fijar sus límites. Un análisis comparativo de los diferentes estudios analizados permite distinguir tres métodos posibles:

1. Centrarse en un proceso de depuración, de regeneración y de almacenamiento de aguas residuales. Elaborar una guía en la que se indiquen los PCC, las medidas preventivas y las medidas correctoras de cada proceso. Visitar algunas instalaciones con objeto de identificar los requisitos previos necesarios para la aplicación del HACCP. Hay que resaltar la importancia de que el tipo de proceso escogido sea el mismo que el que se desea utilizar en la simulación. Así por ejemplo, el método evaluado para el compostaje de fango solamente considera un proceso de higienización, aunque existen otros como la digestión termófila, la estabilización termófila, o el tratamiento con cal.
2. Intentar generalizar el concepto de depuración, de regeneración y de almacenamiento, elaborando una guía de aplicación del HACCP más teórica. En este caso, el resultado será una guía preliminar que serviría para redactar posteriormente una guía definitiva más completa. Los diferentes estudios analizados sobre la aplicación del HACCP a la producción y la distribución de agua potable disponen de guías de este tipo. Aunque la guía del gobierno australiano trata de adaptarse a todas las instalaciones de potabilización, tiene un carácter muy detallado, porque se elaboró a partir de la experiencia adquirida durante varios años.
3. Adoptar un método intermedio entre los 1 y 2 anteriores: consistiría en seleccionar entre 4 y 5 procesos de tratamiento, y elaborar una guía de aplicación del HACCP para todos ellos. Este método tendría la ventaja de poder evaluar los distintos tipos de instalaciones, haciendo más fácil la aplicación del HACCP. Otra ventaja de este método es que permite incorporar procesos adicionales, a medida que ello sea posible o necesario. Aunque lo más interesante sería poder realizar una guía definitiva aplicable a todos los sistemas de tratamiento, ello requeriría un plazo superior a un año académico.

El método de trabajo elegido, de acuerdo con los responsables de la Fundación AGBAR, patrocinadora de este estudio, ha sido el método 1 anterior, tomando como referencia varios procesos diferentes de regeneración de agua. Este método de trabajo ha requerido por tanto visitar diversas instalaciones y desarrollar un plan HACCP para cada una de ellas. El estudio se ha centrado en los riesgos sanitarios, tanto biológicos como químicos.

A continuación se analizan las 12 etapas del HACCP y se propone un método sencillo para su aplicación por etapas sucesivas. Para ello ha sido necesario identificar los puntos que presentan mayores dificultades de realización, y concentrar los esfuerzos necesarios para intentar superarlas.

LAS ETAPAS PRELIMINARES DEL SISTEMA DE HACCP (etapas 1 a 5)

1. Formación de un equipo de HACCP

El presente estudio no contempla la aplicación del HACCP a una EDAR concreta. Por el contrario, se ha tratado de identificar las personas que podían aportar información relevante, tales como especialistas del HACCP y explotadores de plantas de depuración y de regeneración de aguas en concreto.

2. Descripción del producto

Objetivo

El objetivo de esta etapa es describir el producto objeto del estudio, de la forma más concreta posible. Para ello es necesario describir tanto el producto acabado como los elementos que lo integran. Estos elementos son la materia prima utilizada, es decir el agua residual, y los aditivos y los reactivos que se añaden al agua durante los diferentes procesos de tratamiento:

1. La materia prima es un agua residual. Su definición requiere recoger información detallada sobre el tipo de agua, controlar su calidad, analizarla y registrar los resultados, analizar el tipo de vertidos que se realizan a la red de alcantarillado, verificando si existen vertidos industriales y de qué tipo son, así como la posible presencia de lixiviados de vertederos y de fangos de fosas sépticas. La característica más importante a considerar en este apartado es la variación temporal de los parámetros de calidad del agua residual. Los resultados podrían poner de manifiesto la existencia de ciclos, con variaciones a corto y a largo plazo, y también de eventos episódicos. Puede ser interesante realizar un modelo descriptivo de esas variaciones, pues las variaciones en las depuradoras costeras pueden ser muy importantes.
2. Los reactivos y los materiales en contacto con el agua son productos que pueden tener un impacto significativo sobre la calidad del agua regenerada. Sus características deben ser especificadas y verificadas durante su adquisición. Es necesario conocer la composición de estos productos, su contenido de impurezas, sus datos toxicológicos, su potencial de formación de subproductos, sus efectos generales sobre los diferentes parámetros del agua, y las cantidades y las dosis con que se aplican.

Por otra parte, interesa conocer las características del producto acabado. El análisis de estas características debe permitir una valoración de la inocuidad del producto. En el caso de la planta de Wulpen, Dewettinck y col. (2001) propusieron unos límites básicos para evaluar la calidad del efluente secundario (virus < 10 ufc/L y protozoos < 100 unid/L) y del agua regenerada (virus < 2×10^{-7} ufc/L y protozoos < 5×10^{-9} unid/L). Sin embargo, todos estos límites de calidad son de carácter microbiológico, ya que el agua estaba destinada a la recarga artificial de acuíferos.

El agua regenerada no se utiliza exclusivamente para la recarga artificial de acuíferos y por tanto cabe pensar que las exigencias de calidad han de variar en función de los usos previstos. La denominación de agua regenerada comprende por tanto diferentes productos finales, cada uno de los cuales debe satisfacer unos límites diferentes, dependiendo del uso al que ésta se destine. En España, el CEDEX (1999) ha propuesto 14 usos diferentes para el agua regenerada, y ha fijado unas exigencias de calidad para cada uno de ellos, mediante al menos 4 parámetros de calidad. Estas recomendaciones se muestran en la Tabla 4.1. En Cataluña, la Agencia Catalana del Agua

(2003) ha adaptado la propuesta del CEDEX (1999), suprimiendo el uso domiciliario, añadiendo diversos parámetros y rebajando ciertos límites (Véase Anejo 1).

Tabla 4.1. Propuesta de criterios físico-químicos y biológicos mínimos aplicables al agua residual depurada para su reutilización (CEDEX, 1999).

Uso del agua residual regenerada	Criterios de Calidad				Otros	
	Biológica	Físico-química				
	Huevos de Nemátodos intestinales	<i>Escherichia coli</i> (ufc/100ml)	MES (mg/l)	Turbiedad (NTU)		
1	Usos domiciliarios: Riego de jardines privados, descarga de aparatos sanitarios, sistemas de calefacción y refrigeración de aire domésticos, y lavado de vehículos.	< 1 huevo/10 L	< 1	< 10	< 2	
2	Usos y Servicios urbanos: Riego de zonas verdes de acceso público (campos deportivos, campos de golf, parques públicos, etc.); baldeo de calles; sistemas contra incendios; fuentes y láminas ornamentales.	< 1 huevo/ L	< 200	< 20	< 5	
3	Cultivos de Invernadero.	< 1 huevo/ L	< 200	< 20	< 5	<i>Legionella pneumophila</i> <1 ufc/100 mL
4	Riego de cultivos para consumo en crudo. Frutales regados por aspersión.	< 1 huevo/L	< 200	< 20	< 5	
5	Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne.	< 1 huevo/L	< 1.000	< 35	Sin límite	<i>Taenia saginata</i> y <i>T. solium</i> < 1 huevo/L
6	Riego de cultivos destinados a industrias conserveras y productos que no se consuman crudos. Riego de frutales excepto por aspersión	< 1 huevo/L	< 1.000	< 35	Sin límite	
7	Riego de cultivos industriales, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.	< 1 huevo/L	< 10.000	< 35	Sin límite	
8	Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público. Silvicultura.	<1 huevo/L	No límite	< 35	Sin límite	
9	Refrigeración Industrial, excepto industria alimentaria.	No se fija límite	<10.000	< 35	Sin límite	<i>Legionella pneumophila</i> <1 ufc/100 mL
10	Estanques, masas de agua y caudales circulantes de uso recreativo en los que está permitido el contacto del público con el agua (excepto baño).	< 1 huevo/L	< 200	< 35	Sin límite	
11	Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales en los que está impedido el contacto del público con el agua.	No límite	No límite	< 35	Sin límite	
12	Acuicultura (Biomasa vegetal o animal)	< 1 huevo/L	< 1.000	< 35	Sin límite	
13	Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno	< 1 huevo/L	<1.000	< 35	Sin límite	Nitrógeno Total < 50 mg/L
14	Recarga de acuíferos por inyección directa	< 1 huevo/10 L	0	< 10	< 2	Nitrógeno Total < 15 mg/L

Método

Un aspecto esencial del proceso es analizar los valores medios y extremos de los principales parámetros de calidad del agua en las plantas estudiadas. Entre estos parámetros cabe destacar la turbiedad, la DBO₅, la MES, los parámetros indicadores de peligro (coliformes fecales, microorganismos patógenos, hidrocarburos, metales pesados) y los parámetros definitorios de la

calidad del agua regenerada según el CEDEX (1999) y la ACA (2003), tales como la MES, la turbiedad, los huevos de nematodos intestinales, *Escherichia coli*, *Legionella pneumophila*, *Taenia saginata*, *T. Solium*, el nitrógeno total y los metales pesados. Es posible considerar también otros microorganismos indicadores como *Giardia* y *Cryptosporidium*, por ejemplo. Sin embargo es imposible plantearse un estudio sistemático de todos estos parámetros, ya que la explotación sistemática de estas plantas solamente requiere la determinación de algunos de ellos, de acuerdo con la legislación vigente. Tiene siempre interés incluir en el estudio diversos tipos de agua residual, con objeto de evaluar la diversidad que puede registrarse entre ellas, en función del origen y del tipo de vertidos industriales que pueden recibir.

Los resultados experimentales deben representarse gráficamente por orden cronológico, a fin de evaluar sus variaciones estacionales o la distribución de frecuencias del valor de ciertos parámetros, generalmente mediante una distribución de probabilidad normal. Para obtener estas distribuciones de probabilidad, basta listar los valores del parámetro por orden creciente desde 1 a N, donde N es el número total de valores medidos. A cada resultado experimental (x_i) se le asigna un valor de su frecuencia acumulada mediante el estimador $F(x_i) = i/(N+1)$, donde “i” es el número de orden del valor del parámetro considerado. A continuación, basta representar gráficamente los valores numéricos del parámetro de calidad (ordenadas) en función de su frecuencia acumulada (abscisas) utilizando una gráfica de probabilidad normal, disponible en papel impreso o en los diversos programas de representación gráfica y de valoración estadística de datos experimentales. El ajuste de los resultados experimentales a una línea recta confirmaría la hipótesis de que la muestra de valores corresponde a una distribución normal. La recta así obtenida representa una estimación de distribución de probabilidad normal, a partir de la cual se pueden estimar los diversos parámetros estadísticos de la muestra, como la media, la desviación típica y los diversos percentiles. La representación gráfica de los valores de un mismo parámetro, pero registrados en puntos de muestreo correspondientes a fases sucesivas del proceso de tratamiento, permite evaluar fácilmente la aportación específica de cada una de esas etapas (barreras) a la eficiencia global del proceso de tratamiento.

3. Determinación del uso final

Objetivo

El objetivo de esta etapa es identificar los posibles usuarios del agua regenerada y la utilización que tienen previsto hacer de la misma. La utilización del agua debe realizarse de acuerdo con ciertos protocolos y normas prácticas, a fin de controlar y minimizar los posibles riesgos. Por ejemplo, es muy importante establecer la forma de llevar a cabo el riego, ya que el riego nocturno y mediante sistemas localizados implica unos riesgos muy diferentes del riego diurno realizado mediante sistemas por aspersión, en el que el público o los trabajadores pueden entrar en contacto directo con el agua regenerada.

Método

Es necesario identificar correctamente los usuarios del agua, ya que las plantas de regeneración suelen tener generalmente un número reducido de clientes y de una cierta entidad. No obstante, es cada vez más frecuente utilizar el agua regenerada para el riego de amplias zonas ajardinadas, tanto públicas (jardines, parques y zonas de recreo) como privadas (jardines, campos de deportes, céspedes). Conviene asegurar que los usuarios utilizan el agua correctamente. En el caso concreto del regadío, existen diversos códigos de buenas prácticas o recomendaciones dentro de los cuales podemos citar el de la Generalitat de Catalunya: “Prevenció del risc sanitari derivat de la reutilització d'aigües residuals depurades com a aigües de reg”, <http://www.gencat.net/salut/depsan/units/sanitat/html/ca/ambiental/spsard.htm>. Estos códigos definen las condiciones a tener en cuenta durante la aplicación del agua regenerada, tales como la protección de los trabajadores o las distancias entre los campos regados y los espacios públicos. Debe asegurarse su correcta aplicación. En Cataluña, la Agencia Catalana del Agua (ACA, 2003) ha adoptado este

código y ha definido 13 posibles usos distintos para el agua regenerada.

4. Elaboración del diagrama de flujo

Objetivo

El objetivo de esta etapa es elaborar un esquema detallado de todo el proceso de producción y de almacenamiento del agua regenerada. Este diagrama debe ser lo más preciso posible, a fin de disponer de una visión global del proceso y una comprensión básica de cada uno de los elementos que lo integran.

Método

Los diagramas de flujo figuran normalmente entre la documentación propia de las plantas de tratamiento secundario, como corresponde a la documentación requerida por la norma ISO 9002, por ejemplo. No obstante, esta documentación no suele incluir el diagrama de flujo del tratamiento terciario, lo que hace necesario la búsqueda de este tipo de diagramas de flujos en la literatura técnica correspondiente. Es preferible realizar un diagrama de flujo generalizable a diversas plantas de regeneración, en lugar de elaborar un diagrama específico para cada planta. Entre las características de cada etapa que deben aparecer reflejadas en el diagrama de flujo conviene resaltar las siguientes:

1. La eficacia de cada una de las etapas para eliminar los diferentes peligros.
2. Los productos utilizados durante cada etapa.

5. Confirmación in situ del diagrama de flujo

Objetivo

El objetivo de esta etapa es verificar la adecuación del diagrama de flujo a la realidad concreta de una planta, así como de la concordancia entre los protocolos que deben aplicarse y los que realmente se aplican en la propia planta. Cuando el diagrama de flujo elaborado en la etapa 4 no se ha basado en documentos específicos de la planta, es muy importante realizar su confirmación *in situ*. Además, es frecuente que los diagramas de flujo devengan incompletos u obsoletos con el paso del tiempo, ya que no suelen incorporar las ampliaciones realizadas tras la construcción de la planta, como suele ser la propia construcción del tratamiento terciario, o las modificaciones del propio proceso de tratamiento secundario que se suelen realizar con el paso del tiempo.

Método

La visita a una planta de regeneración con una de las diferentes tipologías consideradas permitirá comprobar la exactitud del diagrama de flujo y su capacidad para ser aplicada a un caso real. Además, la visita puede servir para obtener información adicional, como la calidad del afluente y las averías y los fallos que se registran con más frecuencia, por ejemplo.

LOS SIETE PRINCIPIOS DEL SISTEMA HACCP (etapas 6 a 12)

6. Análisis de peligros y medidas preventivas

Objetivo

El objetivo de esta etapa es identificar de forma exhaustiva los posibles peligros, las situaciones de riesgo, los posibles problemas operativos, los errores que pueden provocar peligros, y las medidas preventivas que permiten reducirlos, en el contexto de la instalación en la que se desea implantar el método HACCP.

Método

Los posibles peligros se pueden clasificar según su origen:

1. Peligros debidos al agua residual a tratar.

2. Peligros provocados por un error en el proceso de tratamiento.

El funcionamiento normal de una planta de tratamiento debe asegurar la reducción de los peligros presentes inicialmente en el agua residual hasta un nivel predefinido. Como se ha indicado anteriormente, el análisis de los peligros se puede desglosar en tres fases:

1. Enumeración de los peligros:

Los peligros asociados con el agua residual suelen ser identificados normalmente en la etapa 2. A continuación debe analizarse el diagrama de flujo de la planta, con objeto de enumerar los errores o las incidencias que pueden ocurrir en cada una de sus etapas. Conviene consultar con los explotadores de la planta sobre cuáles han sido o pueden ser las posibles averías o fallos, de modo que puedan analizarse críticamente los registros históricos de las diferentes EDAR.

2. Análisis de riesgos:

Debe analizarse cada una de las etapas del diagrama de flujo para determinar la frecuencia con que se registra cada posible tipo de error, así como de sus posibles consecuencias, con objeto de listar los posibles peligros por orden de importancia. Puede utilizarse para ello una tabla como la Tabla 3.1. Los explotadores de las plantas pueden facilitar también información muy valiosa sobre la frecuencia de los diferentes errores, sus consecuencias, y el tiempo necesario para su corrección.

3. Medidas preventivas:

Cada etapa del diagrama de flujo debe disponer de una lista identificativa de las medidas preventivas existentes o que podrían aplicarse para la reducción de cada uno de los peligros identificados previamente. Por ejemplo, uno de los peligros de la etapa de desinfección es la posible supervivencia de los microorganismos patógenos. Una medida preventiva sería la optimización de la dosis de desinfectante y del tiempo de contacto.

7. Determinación de los PCC

Objetivo

El objetivo de esta etapa es identificar los PCC, es decir las etapas del proceso más importantes para la reducción de los peligros y en las que un posible fallo conduce a un riesgo importante. La determinación de estos puntos es una tarea primordial, ya que son las etapas que requerirán el mayor esfuerzo de control. Si fuera necesario, pueden identificarse también los puntos de atención (PA) pues, aún siendo etapas en las que no se eliminan peligros, su fallo incidirá inevitablemente sobre los PCC posteriores. Aunque los PA no figuran en el plan del HACCP, el manual de formación elaborado por la FAO sobre los sistemas de calidad y de seguridad sanitaria de los alimentos introduce el método HACCP, después de la aplicación de las Buenas Prácticas de Fabricación y de las Buenas Prácticas de Higiene. Los PA pueden considerarse como un equivalente a las Buenas Prácticas, mientras que los PCC constituyen un nivel de control de importante superior.

Método

El diagrama de decisión debe aplicarse, con cierta flexibilidad, a cada etapa del diagrama de flujo (véase Figura 3.3). En el caso de un tratamiento terciario, se puede aplicar un diagrama de decisión similar al que se utiliza en las plantas de potabilización de agua. Cabe esperar que la filtración y la desinfección de un tratamiento terciario sean PCC, como ocurre en el caso de la planta de Wulpen (Dewettinck y col., 2001). La etapa de almacenamiento del agua regenerada puede ser lógicamente otro PCC. En cambio, es posible que no se establezca ningún PCC en el tratamiento secundario, ya que los tratamientos secundarios no se diseñan para eliminar peligros microbiológicos. Además, los procesos biológicos suelen ser más difíciles de controlar que los procesos físicos, como la desinfección con luz UV o la filtración con membrana, o los procesos químicos como la adición de cloro o de hipoclorito de los tratamientos terciarios. Una posible

solución es la identificación de diversos PA en el tratamiento secundario, ya que los PA requieren un menor grado de control que los PCC.

8. Determinación de límites críticos

Objetivo

El objetivo de esta etapa es definir los límites críticos correspondientes a los parámetros de control en continuo asociados a cada PCC estudiado, mediante una correlación entre cada uno de dichos parámetros y los peligros que ese PCC trata de eliminar. Establecer esa correlación puede ser muy difícil o imposible en ciertos casos. En cambio, se acepta usualmente que el peligro no supera un cierto nivel cuando el proceso funciona normalmente. En ese caso, el objetivo de esta etapa es determinar los parámetros de calidad que permiten controlar el correcto funcionamiento del proceso. Así, por ejemplo, la turbiedad y la transmitancia de un agua pueden medirse fácilmente, y en menor grado la intensidad de la luz, durante un proceso de desinfección con luz UV. Mientras esos parámetros se mantengan dentro de un determinado intervalo de valores, puede suponerse que la concentración vírica del agua, por ejemplo, ha experimentado un grado de inactivación determinado, expresado en unidades logarítmicas.

Método

Los parámetros de control de los PCC suelen estar indicados en la literatura técnica y científica, aunque no es frecuente mencionar sus valores límites, ya que son específicos de cada planta de tratamiento concreta. En cambio, los fabricantes de equipos y de productos de desinfección suelen especificar el rendimiento de inactivación de sus equipos y productos, aunque solo sea en relación con un determinado indicador de peligro como los coliformes fecales. El presente estudio no establece límites de control para los parámetros correspondientes a cada PCC. La Tabla 4.2 muestra diversos ejemplos de este tipo de parámetros de control.

Tabla 4.2. Ejemplos de parámetros de calidad utilizados para el control de diferentes procesos de desinfección. (Compilado de HACCP to guarantee safe water reuse and drinking water production - a case study, Dewettinck y col. 2001, Australian Drinking Water Guidelines, 2002)

Proceso	Parámetros de control
Desinfección con luz UV	Turbiedad, intensidad de la luz, transmitancia
Filtración con membrana	Caudal, presión, turbiedad conductividad eléctrica
Desinfección química	Valores de C.t, pH, temperatura, desinfectante residual

9. Establecimiento de un sistema de vigilancia para cada PCC

Objetivo

El objetivo de esta etapa es definir un sistema de vigilancia aplicable a cada PCC que permita obtener la información necesaria, y con la antelación suficiente, para determinar el posible incumplimiento de un límite crítico, o la desviación del comportamiento del sistema con respecto a su intervalo de funcionamiento normal, a medida que se acerca a dicho límite.

Método

La literatura técnica y científica contiene numerosas descripciones de los sistemas de vigilancia aplicables a los diversos procesos de tratamiento. Se dispone de sistemas de vigilancia eficaces para los tratamientos terciarios, pues son muy similares a los utilizados para los procesos de potabilización del agua. En cambio, la información relativa al control en continuo de las estaciones depuradoras de agua residual es mucho más escasa. Los procesos biológicos del tratamiento secundario convencional son muy complejos y dependen de numerosos factores difíciles de controlar; por otra parte las estaciones depuradoras no se suelen proyectar y construir considerando que han de ser sometidas a un control y a una gestión en continuo.

10. Establecimiento de medidas correctoras

Objetivo

El objetivo de esta etapa es definir el conjunto de medidas correctoras que deberán aplicarse cuando se superen uno o varios de los límites de control establecidos en un determinado PCC. Estas medidas han de ser capaces de asegurar que el producto obtenido sigue satisfaciendo la calidad requerida y que el proceso es sometido a las correcciones necesarias para restablecer su funcionamiento normal. A cada tipo de avería, fallo o simple desviación le debe corresponder una respuesta específica, normalizada, y registrada en el plan de HACCP.

Método

La literatura técnica recoge diversas medidas correctoras para los tratamientos terciarios. Parte de las medidas correctoras aplicables a los tratamientos secundarios pueden obtenerse de la documentación técnica de las plantas dotadas de una certificación ISO 9002. El artículo 14 de la norma ISO 9002 obliga a definir e implantar las medidas preventivas y correctoras aplicables durante los posibles casos de avería o fallo. Cabe pensar en la necesidad de definir nuevas medidas correctoras en ciertos casos.

11. Establecimiento de procedimientos de comprobación

El objetivo de esta etapa es definir protocolos para comprobar el buen funcionamiento del plan HACCP, una vez que ha sido establecido para una planta de tratamiento. La presente tesina no incluye la elaboración de este procedimiento, pues el estudio no incluye la aplicación completa del plan de HACCP a una planta de regeneración de agua concreta.

12. Establecimiento de un sistema de documentación y registro

La presente tesina tampoco incluye la elaboración de este sistema de documentación y registro, pues el estudio no incluye la aplicación completa del plan de HACCP a una planta de regeneración de agua concreta.

CONCLUSIÓN

La descripción de las 12 etapas de que consta un plan de HACCP ofrece una guía de gran utilidad para su aplicación a cualquier tipo de proceso de regeneración de aguas residuales. Los capítulos siguientes describen la aplicación de este protocolo a la planta de regeneración de agua de Castell Platja d'Aro, explotada por el Consorci de la Costa Brava.

Capítulo 5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

EDAR DE CASTELL PLATJA D'ARO

La estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de Castell Platja d'Aro está situada en la comarca del Baix Empordà y trata las aguas residuales de los municipios de Sant Feliu de Guíxols, Castell Platja d'Aro y Santa Cristina d'Aro, con una población equivalente de 175.000 habitantes y un caudal máximo de proyecto de 35.000 m³/día.

El agua residual de los municipios de Sant Feliu de Guíxols, Platja d'Aro, Castell d'Aro y Santa Cristina d'Aro llega a la EDAR a través de la red de alcantarillado municipal y, tras pasar por las diferentes estaciones de bombeo, es impulsada a la EDAR para su depuración y posterior vertido al río Ridaura y al mar, a través del emisario de Platja d'Aro. Una parte del agua residual depurada se reutiliza para el riego agrícola y de jardinería. La EDAR incluye los siguientes procesos de tratamiento: 1) pre-tratamiento, 2) tratamiento primario, 3) tratamiento secundario, 4) tratamiento terciario, y 5) línea de fangos.

Pre-tratamiento

El agua residual procedente de los bombeos de Sant Feliu de Guíxols, S'Agaró, Sant Elm, Mun-Ber y Santa Cristina llega a un pozo de bombeo desde el que es impulsada a la EDAR mediante 4 bombas sumergibles. El agua procedente de las estaciones de bombeo de Platja d'Aro y Castell d'Aro llega directamente al proceso de pre-tratamiento de la EDAR, sin pasar por el pozo de bombeo inicial.

La fase de pre-tratamiento dispone de dos líneas paralelas e idénticas, lo que permite mantener el funcionamiento normal de la EDAR de forma ininterrumpida durante las operaciones de mantenimiento de los equipos. El pre-tratamiento consta de dos rejillas automáticas que permiten eliminar los materiales sólidos de tamaño superior a unos centímetros. Los materiales extraídos se depositan en un contenedor mediante una cinta transportadora. El agua pasa a continuación por dos tanques desarenadores-desengrasadores, en los que las arenas decantan y las grasas se acumulan en la superficie en forma de espumas. Las dos primeras cámaras de estos tanques disponen de varios inyectores de aire para favorecer la flotación de las grasas, a la vez que las arenas decantan hacia el fondo. Las arenas retenidas son extraídas y depositadas en dos contenedores, desde donde son evacuadas de la EDAR. La espuma se acumula en la superficie de las dos segundas cámaras, desde donde son retiradas mediante unas rasquetas superficiales impulsadas por un puente móvil. El efluente del desarenador-desengrasador pasa por un canal de sección calibrada para proceder a la medida de su caudal.

El pre-tratamiento está dotado de un dispositivo dosificador de una disolución de cloruro férrico, que se hace funcionar especialmente durante los meses de verano. La adición de cloruro férrico tiene por objeto secuestrar y precipitar los sulfuros que contiene el agua efluente a la EDAR, limitando así los posibles malos olores que el ácido sulfhídrico contenido en el agua residual bruta puede causar en las zonas más próximas a la EDAR.

Tratamiento primario

El efluente del pre-tratamiento es conducido a un proceso de decantación primaria, realizado mediante tres decantadores circulares. Estos decantadores tienen como misión retirar del agua residual una parte significativa de la materia en suspensión que contiene.

El eminente carácter estacional de los caudales que recibe la EDAR hace que dos decantadores primarios sean suficientes para tratar todo el caudal afluente durante el invierno, mientras que durante el verano es necesario poner en servicio los tres decantadores primarios disponibles, de modo que puedan aceptar el caudal efluente en ese período del año.

Tratamiento secundario

El efluente de la decantación primaria (efluente primario) es conducido a un tratamiento biológico de fangos. El efluente primario se mezcla con el cultivo microbiano presente en los reactores biológicos (líquido de mezcla), que se mantiene agitado mediante turbinas superficiales, permitiendo así el contacto íntimo entre el agua y el cultivo biológico, y propiciando que la materia disuelta y en suspensión que contiene el agua pueda ser adsorbida y asimilada por los diversos microorganismos presentes, que la utilizan como sustrato para su crecimiento y desarrollo.

El correcto mantenimiento de este cultivo biológico requiere una aportación permanente de oxígeno atmosférico, con objeto de asegurar que los microorganismos disponen de una concentración de oxígeno disuelto adecuada para su actividad metabólica. Esta aportación de oxígeno se realiza con las mismas turbinas superficiales que aseguran la agitación del líquido de mezcla contenido en el reactor biológico. La variación estacional de los caudales de agua residual afluentes a la EDAR hace que durante el verano deban funcionar los tres reactores biológicos disponibles, mientras que durante el invierno es suficiente con que funcionen dos de ellos.

El agua efluente del reactor biológico (líquido de mezcla) pasa a los decantadores secundarios, para proceder a la separación del cultivo biológico y del agua depurada. La EDAR dispone de tres decantadores secundarios que funcionan de forma coordinada con los correspondientes reactores biológicos. Las células del cultivo biológico se depositan en el fondo de los decantadores (fango secundario), de donde son extraídas del decantador en forma de fangos; una parte de estos fangos se recircula al correspondiente reactor biológico y otra parte es extraída del sistema (purga de fangos) para ser deshidratada y estabilizada mediante procesos adicionales. El agua depurada (efluente secundario) sale por la parte superior de los decantadores y desde allí es enviada en parte al río Ridaura, y en parte al emisario submarino de la propia planta. Una tercera fracción, variable según la estación del año, es sometida a un tratamiento terciario adicional (regeneración del agua), especialmente durante el verano, cuando se registra la mayor demanda de agua para riego agrícola y de jardinería.

Tratamiento terciario

El tratamiento terciario incluye un proceso de coagulación mediante la adición de PAX (Policloruro de aluminio) en un reactor de mezcla completa. Con ello se consigue desestabilizar la carga eléctrica de las partículas en suspensión en el agua y propiciar su agregación (proceso de floculación) para formar pequeños flóculos que puedan ser posteriormente retenidos durante un proceso de filtración. La filtración del agua se realiza mediante cuatro filtros de tipo Hydro-clear con una capacidad total de 625 m³/h. El efluente filtrado es sometido posteriormente a un proceso de desinfección con luz UV, complementado con una desinfección con hipoclorito sódico.

El proceso de desinfección con luz UV consta de dos reactores cerrados y de flujo continuo, colocados en serie, dotados cada uno de ellos de cuatro lámparas de media presión, colocadas

perpendicularmente al flujo de agua. La transmitancia del agua a la luz UV (254 nm) se registra automáticamente en cada una de las unidades. Los dos equipos de desinfección con luz UV tienen un sistema integrado para la limpieza de las lámparas.

Tras su paso por los reactores de desinfección con luz UV, al agua se le añade una disolución de hipoclorito sódico, con objeto de completar el proceso de desinfección. Las dos líneas de dosificación disponibles permiten asegurar el funcionamiento del proceso en continuo. La dosificación de hipoclorito sódico se realiza en función de la concentración de cloro residual que se desee mantener en el agua tratada y de la inactivación microbiana que se pueda conseguir mediante el proceso de desinfección con luz UV; este último valor se suele estimar indirectamente mediante el registro de la transmitancia del agua a la luz UV (254 nm). Todo el caudal de agua filtrada es sometida al proceso de desinfección con luz UV y pasa por el laberinto de desinfección con hipoclorito, cuyo tiempo medio de contacto (permanencia hidráulica) puede estimarse en función del volumen de dicho laberinto. El efluente de los dos procesos de desinfección (agua regenerada) se almacena en un depósito de 327 m³, antes de ser bombeada a los diferentes usuarios.

Línea de fangos

Los fangos biológicos producidos durante la depuración del agua residual son tratados en la EDAR para su evacuación posterior. La EDAR dispone de una cámara de recepción y desbaste de fangos procedentes de fosas sépticas, que son transportados en camiones cisterna desde las diferentes instalaciones de saneamiento individual existentes en los municipios a los que da servicio la EDAR.

El acceso a la cámara de recepción de los fangos de fosas sépticas está restringido a los camiones cisterna autorizados. La cámara de recepción está dotada de una reja de desbaste, de limpieza automática, por la que han de pasar los fangos vertidos por los camiones cisterna. Los fangos así tratados fluyen a un pozo de bombeo, desde son enviados al proceso de digestión de fangos, pasando previamente por un tamiz de finos automático.

Los fangos primarios, así como los fangos purgados del reactor biológico, son enviados al proceso de digestión aerobia de fangos. La EDAR dispone de tres reactores de digestión aeróbica de fangos.

Para controlar la concentración de sulfuros en los fangos, tanto primarios como sépticos, se les añade una disolución controlada de cloruro férrico, una vez que han sido tamizados y antes de su llegada al proceso de digestión aerobia. Con ello se consigue reducir el consumo de oxígeno en el proceso de digestión aerobia y sobre todo mitigar la producción de olores debidos al ácido sulfhídrico, tanto en la EDAR como en las zonas próximas.

El fango efluente del proceso de digestión (fango digerido) es sometido a un proceso de deshidratación, mediante un espesamiento por decantación y una centrifugación posterior. El fango deshidratado es evacuado mediante cintas transportadoras y depositado en un silo de 15 m³ de capacidad y varios contenedores. El fango deshidratado es utilizado posteriormente como enmienda agronómica en los cultivos agrícolas de la comarca.

La Figura 5.1 muestra el diagrama de flujo del proceso de depuración y de regeneración de agua (línea de agua) así como el proceso de tratamiento de fangos (línea de fangos). El diagrama muestra también los puntos de muestreo (PM) de los parámetros de control. La Tabla 5.1 describe los parámetros controlados en los diferentes puntos de muestreo.

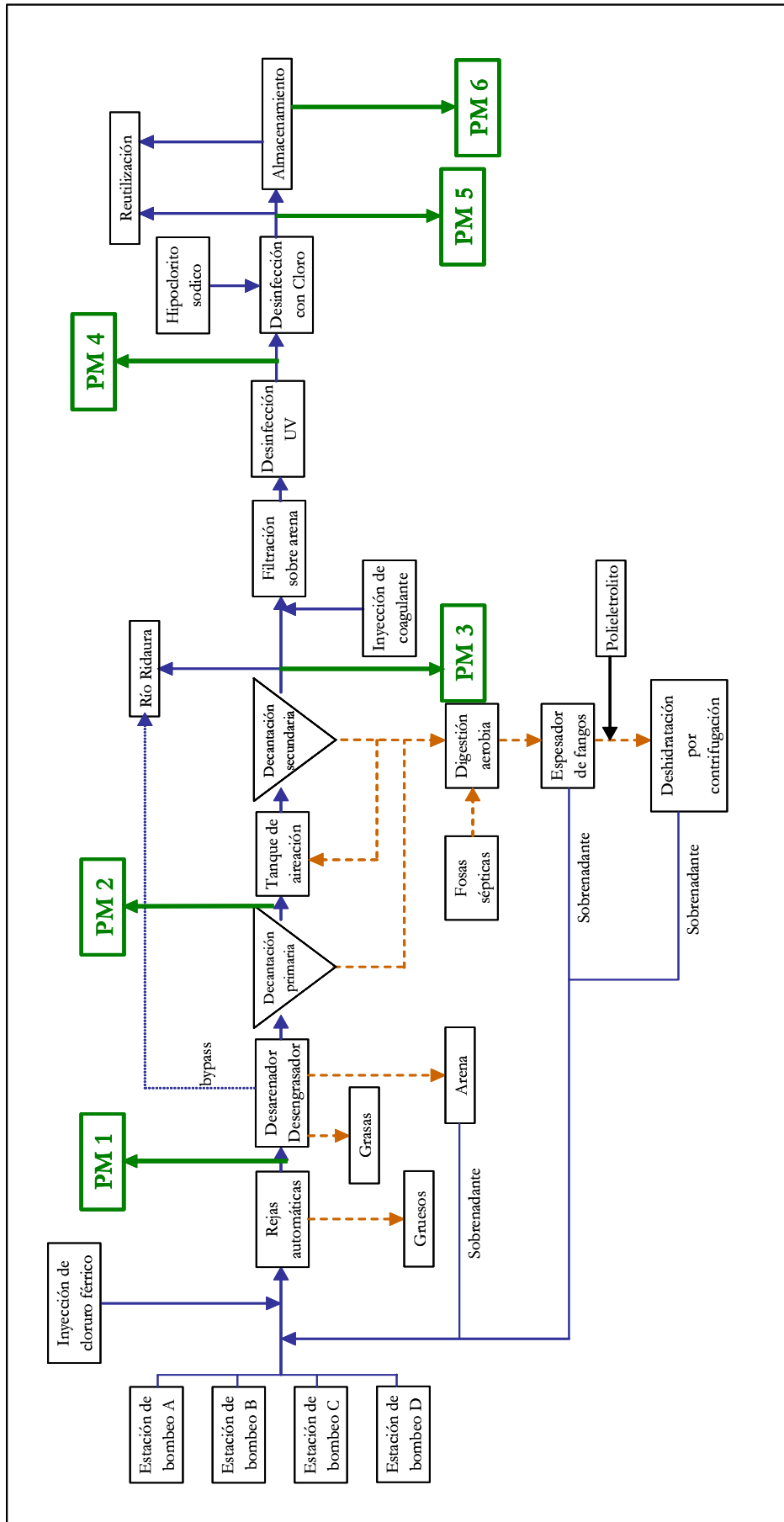


Figura 5.1. Diagrama de flujo de la planta de Castell d'Aro con los Puntos de Muestreo (PM)

Tabla 5.1. Parámetros de control utilizados en los diferentes puntos de muestreo de la EDAR de Castell Platja d'Aro.

Punto de muestreo	Parámetros	Numero de muestras mensuales	
		invierno	verano
	Caudal		
PM 1	DBO ₅ , MES, pH, conductividad eléctrica, NH ₄ , Pt, Cl, sulfuros, NTK	4 - 6	6 - 10
	DQO	2	3 - 4
PM 2	DBO ₅ , MES, pH, conductividad eléctrica, sulfuros	4 - 6	6 - 10
	DQO	2	3 - 4
	P, NTK	0	excepcionalmente
PM 3	DBO ₅ , MES, pH, conductividad eléctrica, NH ₄ , Pt, Cl, sulfuros, NTK, NO ₃	4 - 6	6 - 10
	DQO	2	3 - 4
	Turbiedad, transmitancia a la luz UV, temperatura	4 - 7	5 - 25
	CT, CF, EF	1 - 3	4 - 6
	Na ⁺ , K ⁺ , B-	1	1
	NO ₂	0 - 2	2 - 5
PM 4	CT, CF, EF	0 - 2	2 - 5
PM 5	CT, CF, EF	1 - 2	2 - 5
	Turbiedad, transmitancia a la luz UV, temperatura	4 - 7	5 - 25
	Conductividad eléctrica, pH	1 - 8	4 - 8
	Temperatura, OD	1 - 2	2 - 5
	Cloro residual libre y total	2 - 3	4 - 6
	Caudal		

CT: Coliformes Totales; CF: Coliformes Fecales; EF: Estreptococos Fecales; P: Fósforo total.

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

La EDAR de Castell-Platja d'Aro genera tres productos principales:

1. Efluente secundario (agua depurada).
2. Efluente terciario (agua regenerada).
3. Fango digerido y deshidratado.

El objetivo principal de esta tesina es el estudio del segundo de estos productos: el agua regenerada. El agua regenerada se destina a tres usos diferentes:

1. Servicios urbanos: riego de campos de golf y de zonas verdes.
2. Riego de cultivos agrícolas, principalmente hortalizas y productos de consumo crudo.
3. Mejora ambiental del río Ridaura.

La descripción del producto elaborado constituye una de las etapas básicas del proceso de aplicación del HACCP. A continuación se analizan las distintas fases del proceso de producción de: 1) el agua residual cruda, 2) el efluente secundario y 3) el efluente terciario o agua regenerada.

Agua residual cruda

El agua residual afluente a la EDAR de Castell-Platja d'Aro es de carácter urbano. La cuenca vertiente carece de vertidos industriales, y las aportaciones de lixiviados de vertederos fueron prohibidas hace ya varios años, debido a las perturbaciones considerables que causaban al proceso de tratamiento biológico de las aguas.

El carácter residencial de la cuenca vertiente y especialmente las variaciones estacionales debidas a la población turística estival hacen que el caudal afluente a la EDAR experimente unas fluctuaciones de caudal muy importantes. La Figura 5.2 muestra la variación del caudal mensual afluente a la EDAR durante el período transcurrido entre enero de 2001 y diciembre de 2003.

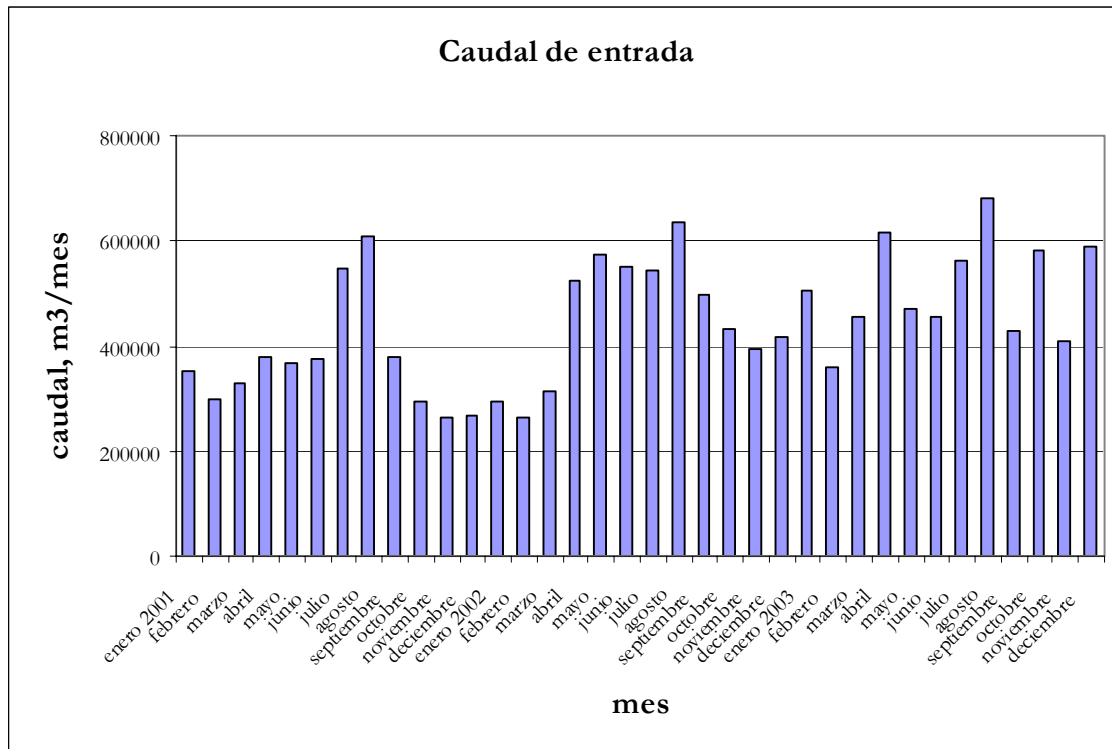


Figura 5.2. Caudal mensual afluente a la EDAR de Castell-Platja d'Aro (CCB, 2004).

La Figura 5.2 ilustra la estacionalidad típica que registra una EDAR como la de Castell Platja d'Aro, ubicada en una zona eminentemente turística. Los caudales más importantes se registran siempre en agosto y los menores en febrero, pudiendo alcanzarse una proporción relativa de caudales de 3:1 entre el verano y el invierno. Por otra parte, la Figura 5.2 muestra un aumento progresivo del caudal afluente con el paso de los años: mientras que caudal anual en el 2001 fue de 4,46 hm³, en el 2002 alcanzó los 5,44 hm³, para llegar en el 2003 a los 6,11 hm³.

La tabla 5.2 muestra los principales parámetros de calidad del agua afluente a la EDAR (PM1) durante los meses de enero de 1999 a marzo de 2004. Los análisis se vienen realizando en muestras compuestas de 24 horas desde el año 2000.

Tabla 5.2. Calidad del agua residual afluyente a la EDAR de Castell-Platja d'Aro, en función de la estación anual (Invierno = octubre a mayo; Verano = junio a septiembre).

Parámetro	DBO ₅ mg O ₂ /l		DQO mg O ₂ /l		MES mg/l		Conductividad eléctrica, μS/cm		pH	
	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V
Estación										
Máximo	713	763	1.314	1.480	886	1.204	6.220	3.660	8,2	7,8
Mínimo	20	60	78	155	28	80	500	654	7	6,6
Media	238	290	495	637	300	357	1.530	1.710	7,5	7,4
Numero de muestras	204	144	95	73	205	144	205	145	205	145

Los resultados de la Tabla 5.2 muestran una clara dependencia de la calidad del agua respecto a la estación del año. Durante el verano, la carga orgánica aumenta un 25% y la MES un 20% con respecto a los valores del invierno. La conductividad eléctrica aumenta ligeramente durante el verano, mientras que el pH se mantiene estable. Además de las variaciones medias estacionales, el afluyente registra variaciones puntuales muy importantes, como se deduce de una evaluación comparativa entre los valores máximos y mínimos de cada estación. Mientras que las variaciones medias estacionales tienen un comportamiento cíclico, las variaciones puntuales son más difíciles de caracterizar, debido a la naturaleza aleatoria de los eventos que las generan, como ocurre con los episodios de intensas precipitaciones, por ejemplo.

Los apartados siguientes presentan un estudio más detallado de diversos parámetros de calidad del agua, debido a su especial relevancia durante la regeneración posterior del agua.

Conductividad eléctrica (CE)

La CE del afluyente a la EDAR de Castell Platja d'Aro tiene una importancia primordial en la calidad del agua regenerada producida, ya que éste es un parámetro de calidad que se mantiene prácticamente inalterado a su paso por los procesos de depuración biológica y de tratamiento físico-químico de regeneración que se aplica en la EDAR. La CE del afluyente y del efluente de la EDAR son similares. La Figura 5.3 muestra la evolución histórica de la CE del afluyente a la EDAR.

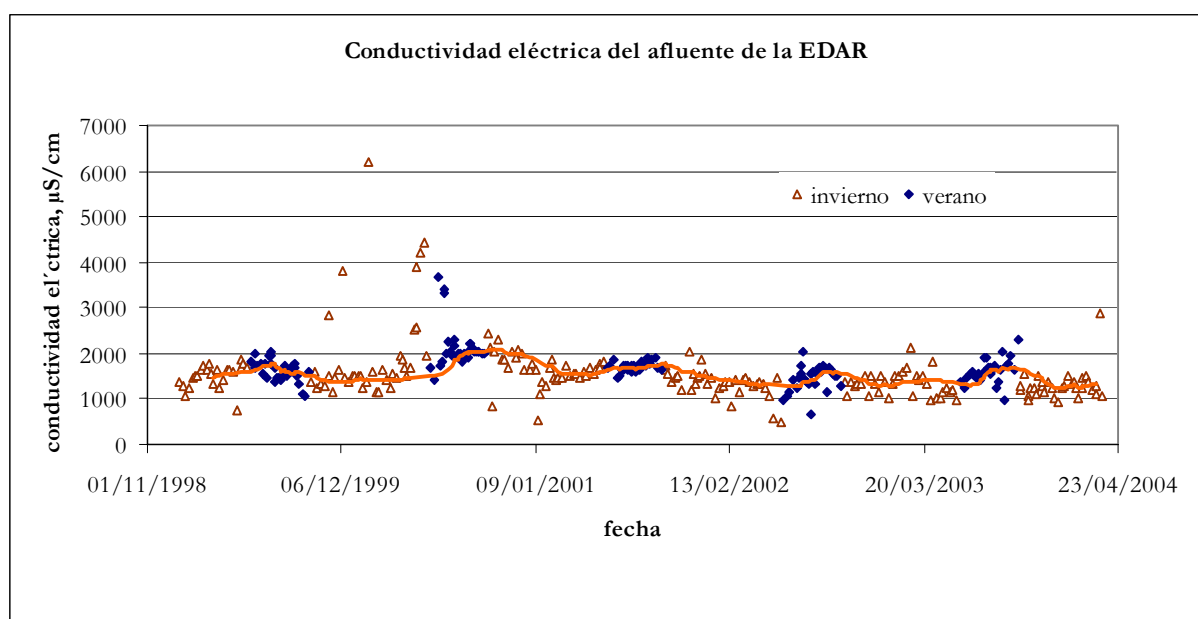


Figura 5.3. Evolución histórica de la conductividad eléctrica del afluyente a la EDAR de Castell-Platja d'Aro (CCB, 2004).

La curva de tendencia representada en la Figura 5.3 se ha obtenido sin tener en cuenta los valores inusuales que se alejan notablemente de la variación cíclica, y utilizando los valores medios correspondientes a 12 resultados experimentales consecutivos. La información contenida en la Figura 5.3 permite obtener las siguientes conclusiones:

1. La gran mayoría de los valores de la CE registrados se sitúan entre 1.000 y 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
2. La CE experimenta una clara evolución cíclica. Los valores más altos de la CE se registran durante los meses finales del verano: agosto y septiembre.
3. La CE registra episódicamente valores muy superiores a los usuales, llegando a superar los 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y manteniéndose a ese nivel durante dos o tres días consecutivos. La CE experimenta variaciones de hasta 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en un solo día. Esos puntos corresponden a eventos excepcionales, como la intrusión de agua de mar. Así por ejemplo, los valores tan elevados registrados en mayo, junio y julio de 2000 fueron ocasionados por las obras de construcción de unas viviendas cerca del mar; la aparición de infiltraciones de agua de mar durante la excavación de los sótanos hizo que hubieran de extraerse esas aguas, que se vertieron indebidamente a la red de alcantarillado. Esto provocó un aumento considerable de la salinidad del agua residual circulante por la red de alcantarillado, que se tradujo en un aumento notable de la CE del afluente. Ni los valores anteriores ni posteriores de la CE indican la existencia de una condición permanente responsable de unas fluctuaciones de la CE de esa magnitud.

La CE del afluente a la EDAR se mantiene normalmente por debajo de 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a excepción de los períodos analizados anteriormente. Conviene resaltar que la CE puede tener una variación notable, incluso a lo largo del día, y es por tanto conveniente realizar su control en continuo, o más de dos veces al día, con objeto de poder detectar desviaciones imprevistas. Esta circunstancia es aplicable durante los episodios de lluvias intensas, especialmente si van acompañados de viento de Levante, que propicia la entrada de agua de mar en los imbornales de la red de alcantarillado de zonas próximas a la línea de mar. Por otra parte, la medida de la CE es sencilla, fiable y económica de realizar, tanto de forma puntual como en régimen continuo.

Materia orgánica (MO)

El contenido de MO del afluente a una EDAR no tiene una influencia directa en el proceso posterior de regeneración del agua, porque el proceso biológico tiene como misión producir un efluente depurado con una concentración determinada de MO. Obviamente, el incumplimiento de este requisito suele constituir con frecuencia una interferencia importante en el proceso de regeneración. Las Figuras 5.4 y 5.5 muestran los valores registrados por la DBO_5 y la DQO del efluente secundario, como parámetros más usuales para caracterizar el contenido de MO de un agua residual. La información contenida en esas figuras permite obtener las siguientes conclusiones:

1. La evolución de la DBO_5 y la DQO es muy similar, evidenciando una proporcionalidad entre ambos parámetros de calidad del efluente, como ilustra la Figura 5.6.
2. Los valores más elevados de la DBO_5 y la DQO se registran en el mes de agosto.
3. Los valores registrados muestran una gran fluctuación diaria.
4. El contenido de MO experimentó un notable aumento en el verano de 2000.

Los valores experimentales de la Figura 5.6 permiten estimar una relación aproximada entre las dos formas de medir el contenido de MO de un agua, que se expresa mediante la ecuación $\text{DQO} = 2,5 (\text{DBO}_5) - 0,001(\text{DBO}_5)^2 + 26$, y que puede simplificarse en la expresión $\text{DQO} = 2,5 \text{ DBO}_5$. Esta relación permite estimar un índice de biodegradabilidad $\text{IB} = \text{DBO}/\text{DQO} = 1/2,5 = 0,40$, que es coherente con una ausencia significativa de vertidos industriales. Un valor del IB próximo a 0,75 indicaría una biodegradabilidad completa, mientras que un valor inferior a 0,25 indicaría la presencia significativa de compuestos difícilmente biodegradables, generalmente aportados por los vertidos de aguas residuales industriales.

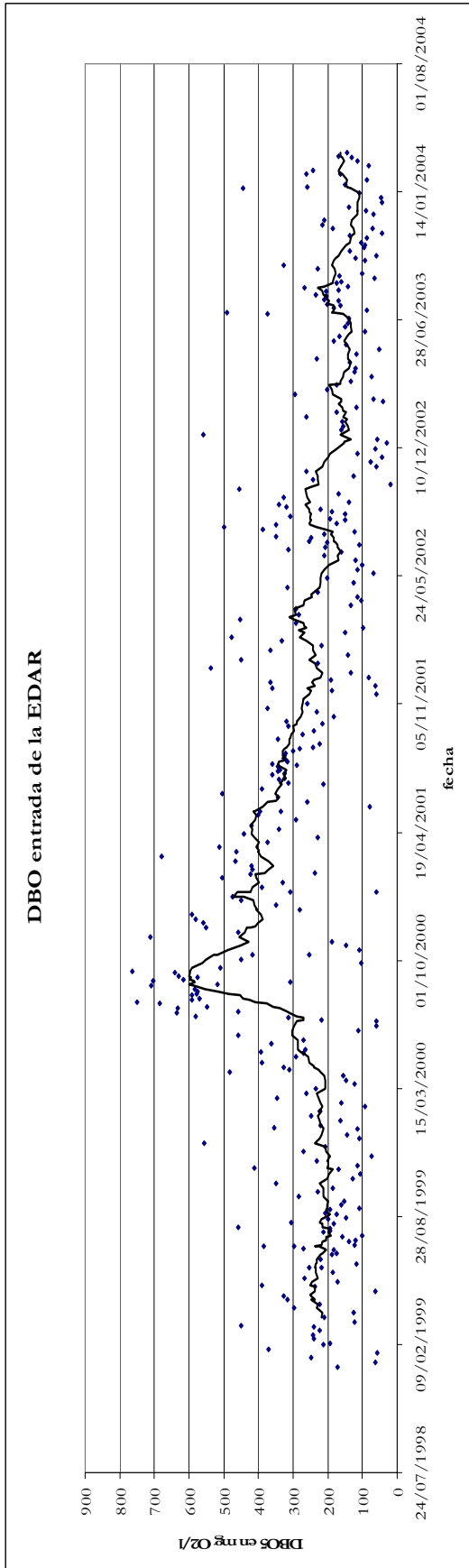


Figura 5.4. Variación de la DBO a la entrada de la depurador:

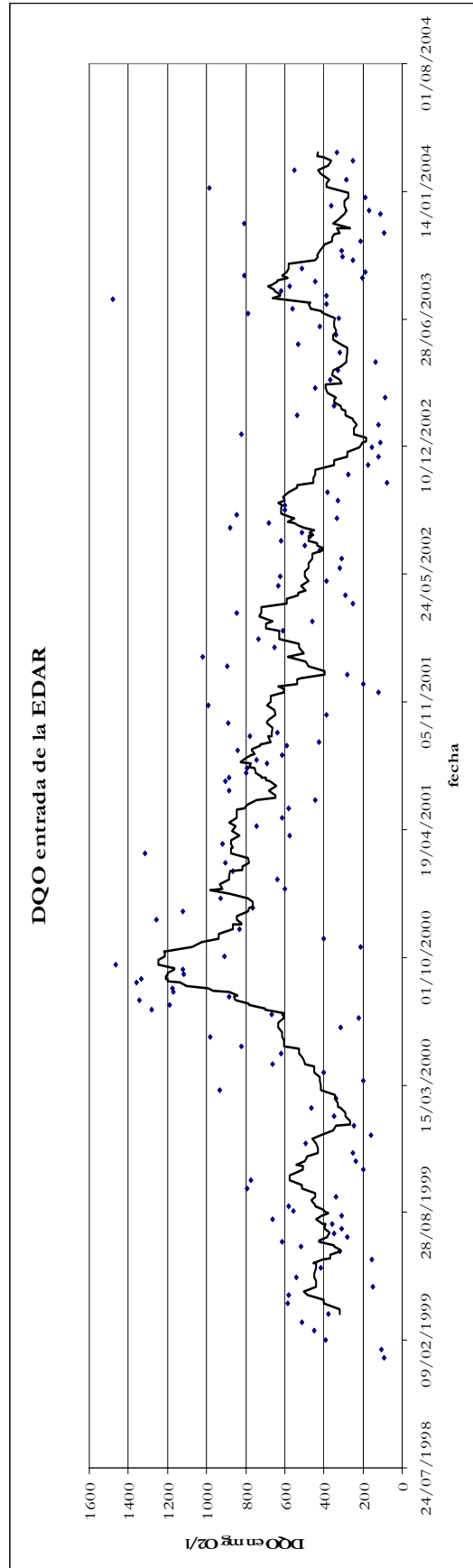


Figura 5.5. Variación de la DQO a la entrada de la depurador:

La figura 5.6 muestra un punto concreto caracterizado por una DBO_5 de 170 $mg\ O_2/l$ y una DQO muy elevada de 1.480 $mg\ O_2/l$, con un IB de 0,11. Ese mismo día, el efluente primario (PM 2) tenía una DBO_5 de 117 $mg\ O_2/l$ y una DQO de 200 $mg\ O_2/l$, valores mucho más razonables y usuales para un efluente primario, adecuados para un tratamiento biológico posterior y con un IB de 0,59.

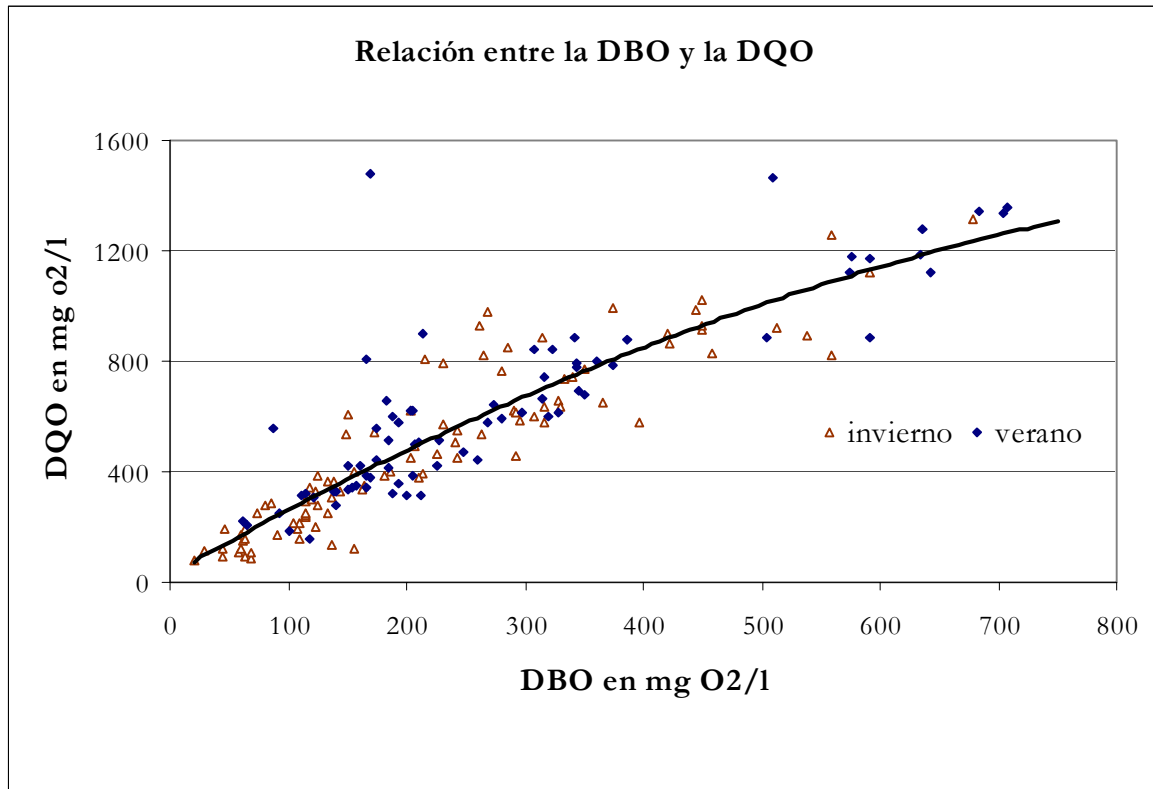


Figura 5.6. Relación entre la DQO y la DBO_5 del afluente a la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).

Sulfuros

Los sulfuros presentes en un agua residual pueden provocar la liberación de ácido sulfhídrico gaseoso, en condiciones ácidas de pH, lo que comporta la generación del mal olor propio (huevos podridos) de este gas. La adición de cloruro férrico permite evitar la liberación del ácido sulfhídrico, mediante su precipitación como sulfuro ferroso en condiciones reductoras, y la generación del color negro característico. No obstante, este proceso tiene un inconveniente práctico, pues la posterior presencia de cloruro férrico en el efluente secundario (condiciones aerobias) absorbe luz UV y disminuye la eficiencia del proceso de desinfección con luz UV. Conviene por tanto mantener la dosificación de cloruro férrico lo más baja posible de modo que, asegurando la eliminación de malos olores, se consiga la máxima eficiencia del proceso de desinfección con luz UV, y en consecuencia se pueda disminuir al máximo la dosis de cloro del proceso complementario de desinfección. La Figura 5.7 muestra los valores históricos de la concentración de sulfuros en el afluente de la EDAR. Como forma de valorar el grado de variación temporal de estos valores, la Figura 5.8 muestra la distribución de frecuencias de la variación absoluta experimentada por cada dos valores consecutivos de la concentración de sulfuros en el afluente de la EDAR.

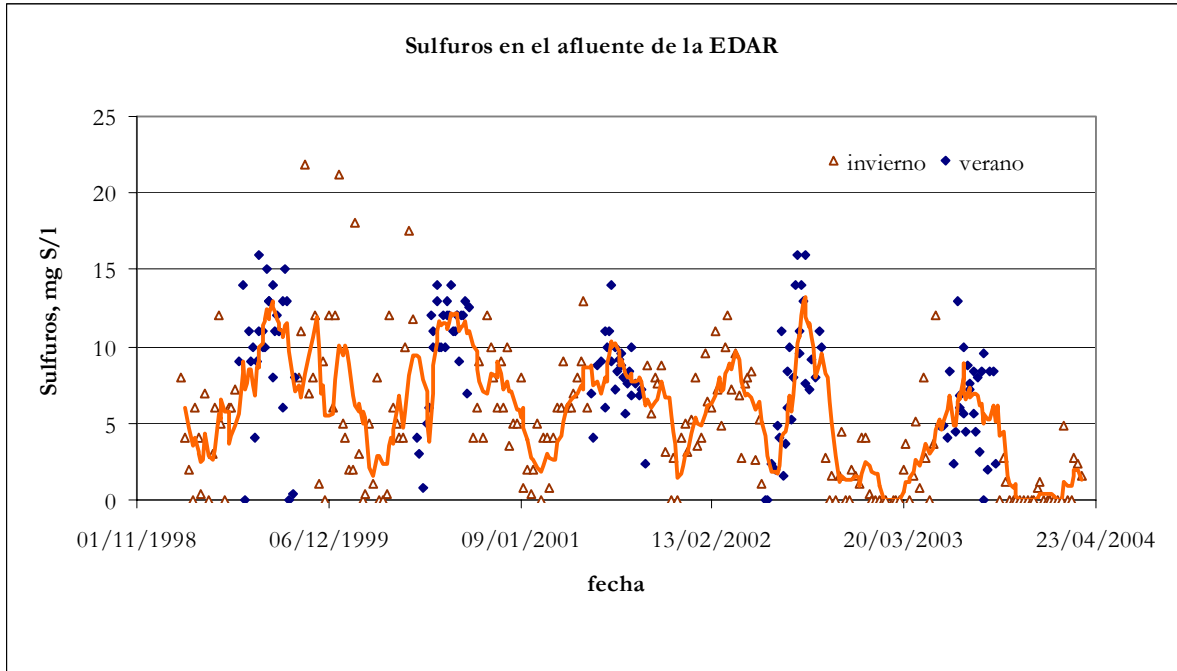


Figura 5.7. Evolución histórica de la concentración de sulfuros en el afluente (PM1) de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).

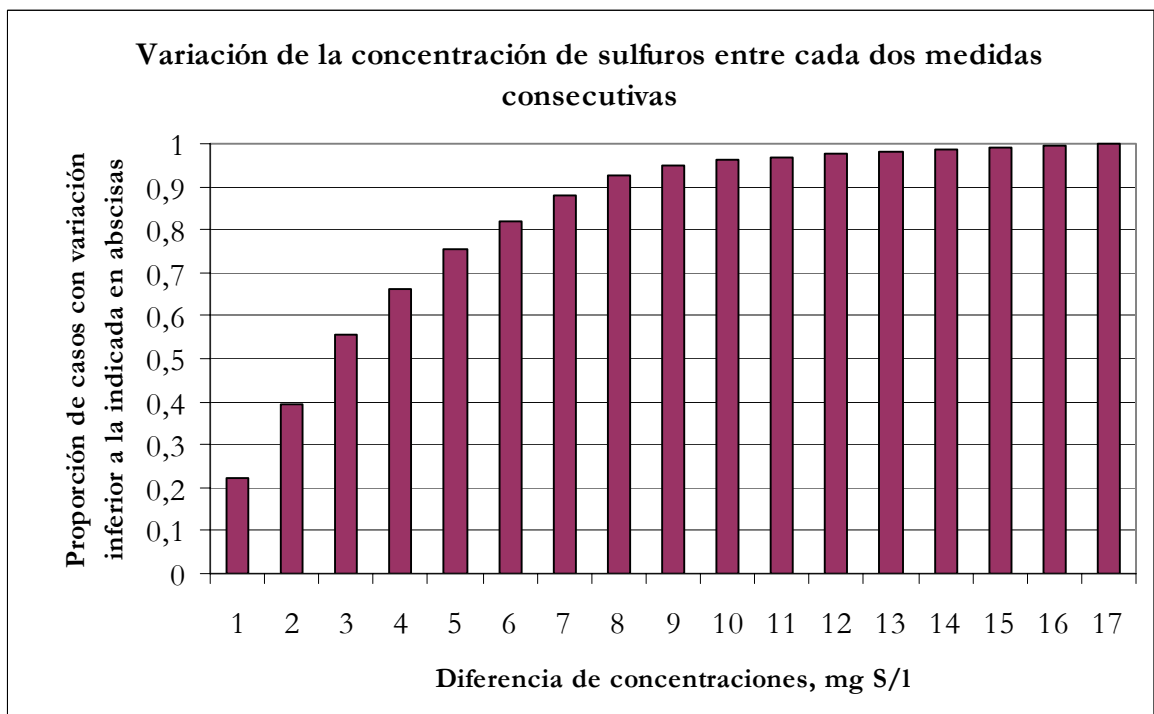


Figura 5.8. Distribución de frecuencias de la diferencia entre dos valores consecutivos de la concentración de sulfuros en el afluente (PM1) de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).

La información contenida en las Figuras 5.7 y 5.8 permite obtener las siguientes conclusiones:

1. El contenido de sulfuros sigue un ciclo anual, con unos máximos en verano y unos mínimos en invierno.
2. La concentración total de sulfuros en el afluente oscila entre 0 y 15 mg S/l.

3. La concentración de sulfuros en el afluente ha registrado una ligera disminución en los últimos 5 años.
4. La mayoría de las variaciones entre medidas consecutivas son inferiores a 3 mg S/l y un 90% de ellas son inferiores a 8 mg S/l.
5. Los valores registrados son independientes entre sí y la variación entre dos medidas consecutivas no depende de la variación con la medida precedente. Los resultados se obtuvieron en medidas suficientemente espaciadas en el tiempo (una vez a la semana en invierno y 2 veces a la semana en verano) de modo que cabe pensar que dos medidas consecutivas no corresponden a un mismo evento o situación.

Para conseguir un ajuste adecuado de la dosis de cloruro férrico aportada en continuo es necesario conocer con exactitud:

1. La dosis de cloruro férrico necesaria para secuestrar un cierto contenido de sulfuros.
2. La concentración de sulfuros en un momento dado. La frecuencia de muestreo debe permitir un seguimiento preciso de este parámetro. Una frecuencia de muestreo muy baja propiciará un desajuste frecuente entre la dosis de cloruro férrico fijada para la muestra inicial y la concentración de sulfuros presente durante el tiempo transcurrido hasta la siguiente muestra; esto resultará en una posible producción de olores, o en una aportación excesiva y contraproducente de cloruro férrico. Una frecuencia de muestreo demasiado alta complicará innecesariamente el ajuste de la dosis. Así por ejemplo, si la concentración de sulfuros no varía más de 2 mg S/l entre dos días consecutivos, la dosis de cloruro férrico se podría ajustar diariamente a un contenido de sulfuros igual al resultante de aumentar en 2 mg S/l el valor realmente registrado en el momento del muestreo.

Las Figuras 5.7 y 5.8 no incluyen todos los resultados experimentales obtenidos realmente. La concentración de sulfuros en el afluente a la EDAR se determina dos veces al día, lo que permite ajustar adecuadamente la dosis de cloruro férrico. Sin embargo, el cloruro férrico tiene también la misión de coagulante para la decantación primaria, lo que complica considerablemente su dosificación práctica.

Efluente secundario

Las características del efluente secundario son importantes porque influyen en la calidad del agua regenerada. Esas características se miden en el PM3, a la salida del decantador secundario. La Tabla 5.3 muestra los principales parámetros de calidad del efluente secundario. Los datos indican que la EDAR permite eliminar, con una gran fiabilidad, la materia orgánica (MO) y la materia en suspensión (MES) contenidas en el afluente primario. Tras su depuración biológica, el agua satisface los requisitos de DBO₅ y DQO exigidos para su reutilización. Cuando la MES supera el límite máximo establecido, cabe esperar que la filtración terciaria consiga satisfacer el límite de MES establecido. En cambio, la conductividad eléctrica no puede ser eliminada ni por el tratamiento secundario ni por el tratamiento terciario. La Tabla 5.3 muestra también la calidad microbiológica obtenida con los análisis del efluente terciario. Estas analíticas abarcan desde enero de 2003 a mayo de 2004.

Conductividad Eléctrica (CE)

La CE en el PM3 es muy similar a la del PM1, excepto en los casos en que los valores tan elevados de la CE en el PM1 hacen que se active un desvío (by-pass) y que el afluente se vierta directamente al río. Tiene especial interés determinar si una CE en el PM1 superior a 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hace que la CE en el PM3 también supere ese valor límite. La Tabla 5.4 indica las muestras que superaron ese límite en el PM3, así como las medidas anteriores y posteriores a éstas. Aunque las intrusiones de agua salina detectadas no afectaron al rendimiento del proceso

biológico, podemos suponer que duraron varios días. Los datos de la Tabla 5.4 muestran que no es posible anticipar la presencia de una intrusión salina a partir del conocimiento de las medidas anteriores a ésta, excepto en casos como el del día 9 de mayo 2000. En esta ocasión, la CE se había mantenido muy elevada desde la semana anterior.

Tabla 5.3. Calidad del efluente secundario y terciario (a) según la temporada (I = invierno de octubre a mayo; V = verano, de junio a septiembre, excepto para los CF: I= de septiembre a marzo y V= de mayo a agosto).

Parámetro	DBO ₅ Mg O ₂ /l		DQO mg O ₂ /l		MES mg/l		Conductividad μS/cm		pH		Coliformes fecales ufc/100 ml (a)	
	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V
Máximo	18	19	108	118	26	26	4350	4000	8,1	8,1	3,8.10 ⁶	1,1.10 ⁷
Mínimo	2	1	10	20	1	1	433	973	7,1	7,2	9,0.10 ²	4,4.10 ⁴
Media	4,5	7,6	47	56	5,2	9,7	1410	1609	7,5	7,6	7,1.10 ⁵	3,7.10 ⁶
No. de muestras superiores al límite (tabla 5.5) / No. total de muestras	0 / 227	0 / 150	0 / 126	0 / 82	2 / 228	7 / 152	4 / 228	2 / 152	0 / 228	0 / 152	---	---

Tabla 5.4. Análisis comparativo de la conductividad eléctrica (CE), en μS/cm, medida en diferentes PM de la EDAR de Castell Platja d'Aro.

Fecha	conductividad PM1	conductividad PM2	conductividad PM3	Rendimiento del tanque de aireación
03/05/2000	2.510	2.530	2.100	98
09/05/2000	2.550	3.140	3.160	98
10/05/2000	3.890	--	2.990	--
15/05/2000	4.210	4.830	3.730	96
23/05/2000	4.440	4.300	3.240	97
30/05/2000	1.928	1.663	1.713	96
06/06/2000	1.703	1.019	1.704	85
13/06/2000	1.434	1.342	1.662	92
21/06/2000	3.660	1.860	1.884	93
28/06/2000	1.736	1.666	1.741	91
29/06/2000	1.836	--	1.800	--
04/07/2000	3.420	4.210	3.780	93
06/07/2000	3.310		4.000	--
11/07/2000	2.000	1.295	1.577	95
06/11/2001	1.211	1.031	1.192	97
14/11/2001	--	4.490	4.350	92
20/11/2001	2.050	2.370	2.610	94

Materia Orgánica (MO)

La MO del efluente secundario es uno de sus parámetros de calidad más importantes. La MO disuelta absorbe luz UV y por tanto afecta al rendimiento de la desinfección con luz UV. La DQO permite una mejor estimación del contenido de MO de un agua que la DBO, debido a que ésta última representa solamente la materia orgánica biodegradable. Por otra parte, el proceso de filtración en arena existente entre el PM3 y el reactor de desinfección con luz UV no permite disminuir de forma significativa el contenido de MO disuelta contenida en el efluente del proceso biológico (PM3). Esto significa que el contenido de MO del efluente del proceso biológico tendrá una influencia directa sobre la eficacia del proceso de desinfección con luz UV, y pone de relieve la importancia de que el proceso biológico alcance los límites de calidad más altos posibles.

Las Figuras 5.9 y 5.10 muestran el contenido de MO, medida como DBO_5 y DQO, del efluente del proceso de depuración biológica (PM3). El análisis de estos resultados permite deducir las siguientes conclusiones:

1. La MO registra una variación estacional, especialmente evidente en el caso de la DBO_5 (Figura 5.9). El contenido de materia orgánica más elevado se alcanza en verano, lo que permite anticipar que la transmitancia del agua será menor en verano.
2. La DQO suele oscilar entre 20 y 80 $mg\ O_2/l$, registrando una disminución progresiva durante los últimos años.
3. El proceso biológico de la EDAR tiene un rendimiento de eliminación de la MO elevado, superior al 90%, y tiene una notable fiabilidad, pues nunca se superaron los valores límites de 40 $mg\ O_2/l$ para la DBO_5 y de 160 $mg\ O_2/l$ para la DQO.
4. La EDAR mantiene un funcionamiento muy satisfactorio en cuanto a la disminución del contenido de MO del agua.

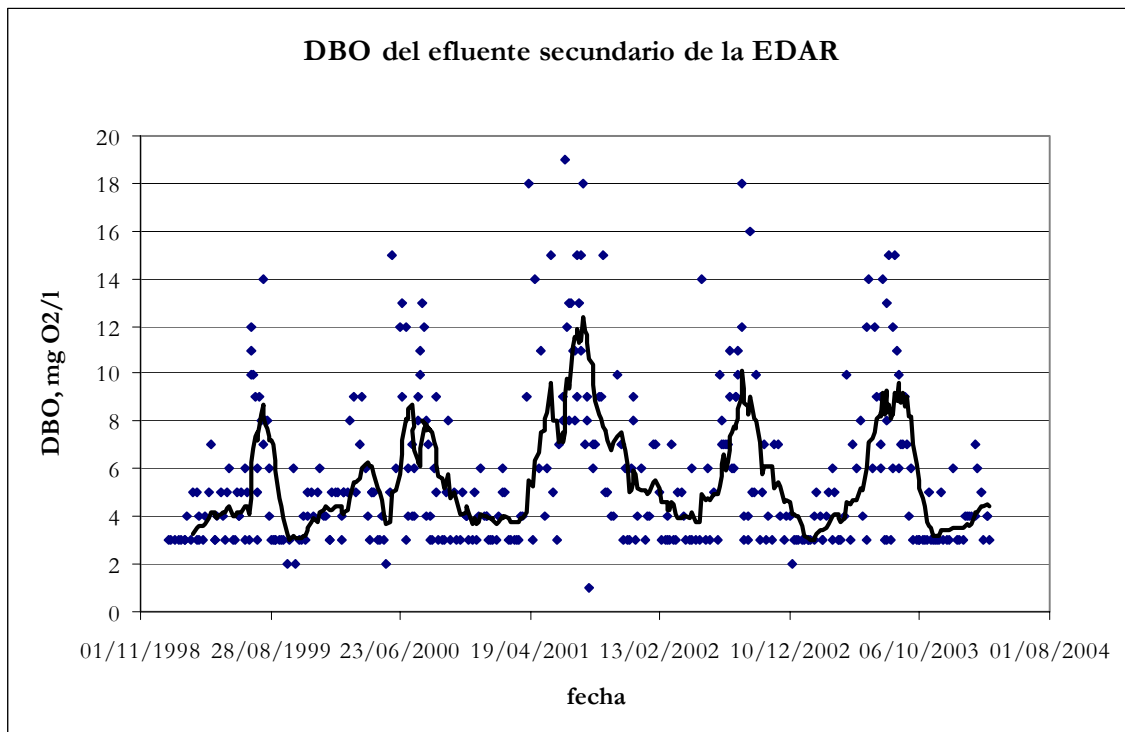


Figura 5.9. Valores de la DBO_5 del efluente en el PM3 de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).

Indicadores biológicos

Los indicadores de contaminación fecal medidos en el efluente del proceso de tratamiento biológico son los coliformes totales, los coliformes fecales y los estreptococos fecales. Estos parámetros de calidad permiten determinar el régimen de explotación del proceso de tratamiento terciario (regeneración) y especialmente del proceso de desinfección final. Las Figuras 5.11 y 5.12 muestran que los diferentes indicadores biológicos tienen un comportamiento similar. La concentración de coliformes totales es muy similar a la de coliformes fecales, como cabía esperar en razón del carácter urbano (eminentemente doméstico) del agua residual tratada y la naturaleza de estos dos indicadores (los coliformes fecales son un subgrupo de los totales). La regresión lineal obtenida es muy aceptable, si se descarta uno de los puntos que se desvía excesivamente (posiblemente resultado incorrecto). Por otra parte, la regresión lineal entre los CF y los EF (Figura 5.12) es menos satisfactoria.

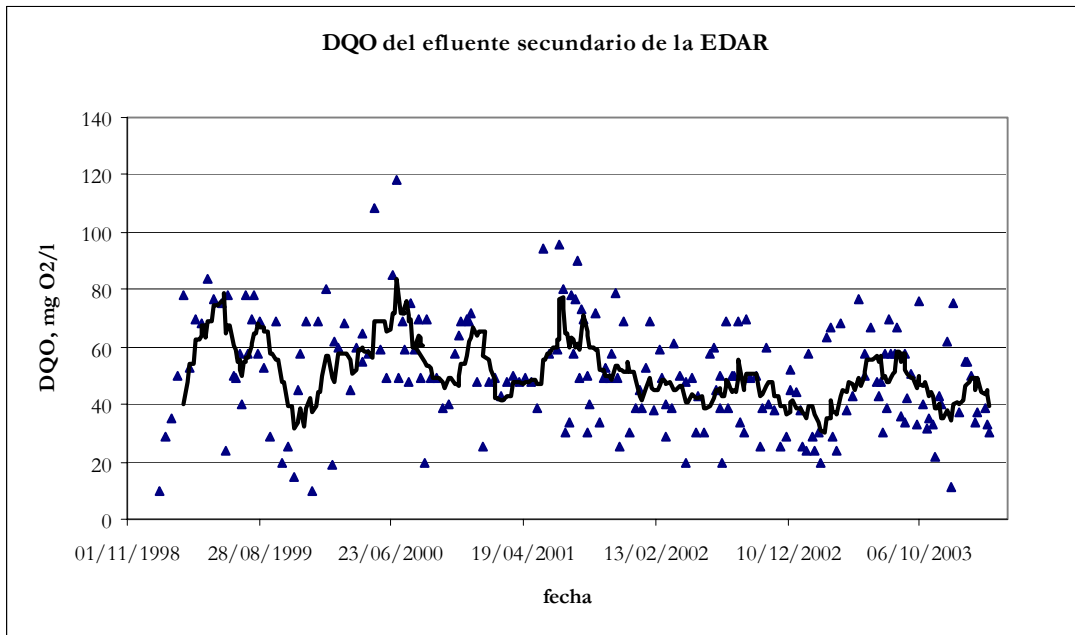


Figura 5.10. Valores de la DQO del efluente (PM3) de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).

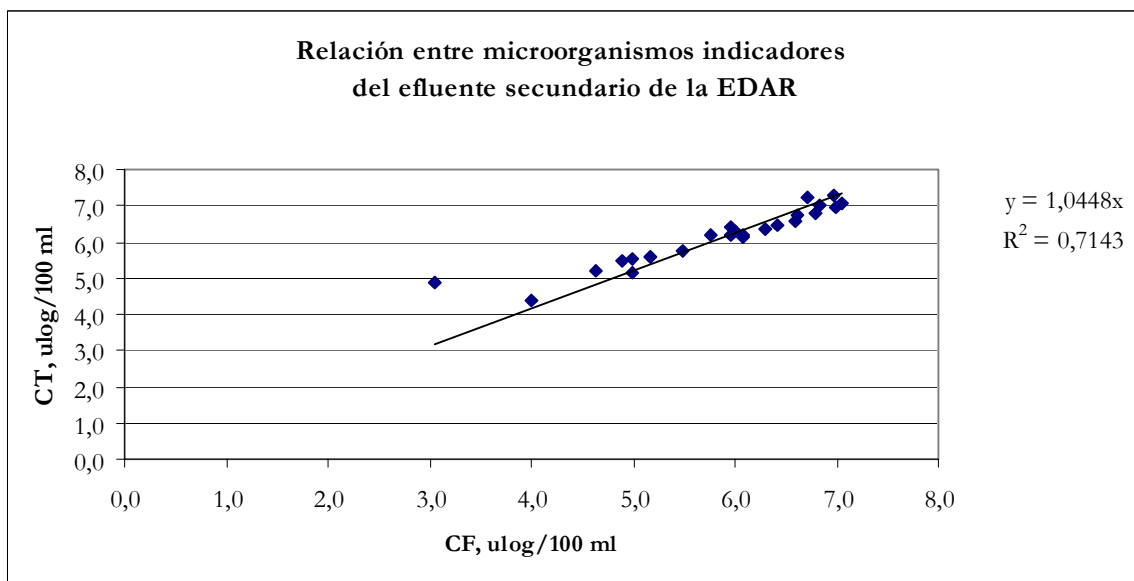


Figura 5.11. Relación entre los CT y los CF del efluente secundario de la EDAR de Castell Platja d'Aro, (CCB, 2004).

La normativa de la ACA utiliza *Escherichia coli*, como indicador. *E. coli* forma parte del grupo de los coliformes fecales y es un indicador de contaminación fecal. En aguas residuales urbanas, *E. coli* representa la gran mayoría (más del 90%) de los coliformes fecales. Por este motivo, es frecuente considerar como aceptable la equivalencia entre el contenido de coliformes fecales y el de *E. coli*.

La Figura 5.13 muestra la gran variabilidad registrada por las concentraciones de CF entre unos días y otros, que alcanza una proporción de 1:10.000 entre los valores mínimos y máximos. También indica que la concentración de CF es mayor durante el verano (entre 5 y 7 ulog/100 ml) que durante el invierno (entre 3 y 5 ulog/100 ml). Todo ello obliga a que el proceso de desinfección haya de ser más eficiente en verano que en invierno, y deba poder afrontar cambios de concentración con un factor de variación de 1:100 entre un día y otro.

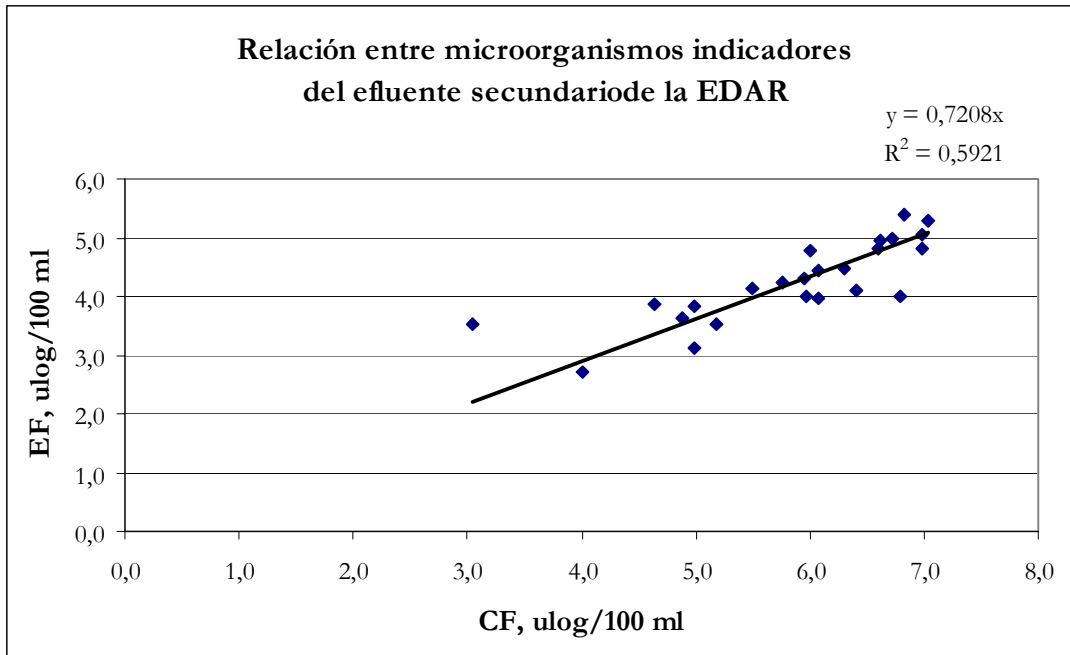


Figura 5.12. Relación entre los EF y los CF del efluente secundario de la EDAR de Castell Platja d'Aro, (CCB, 2004).

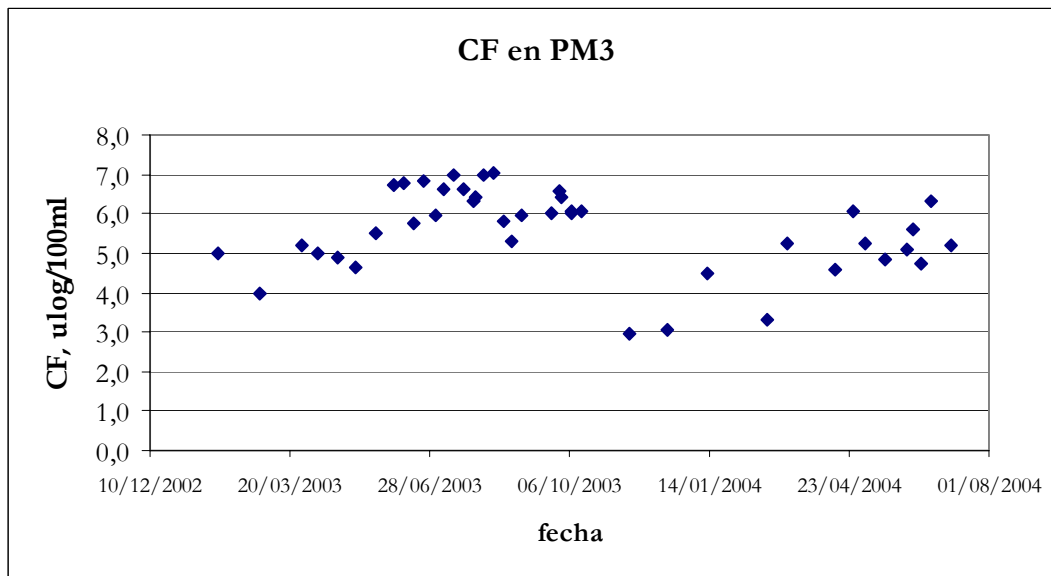


Figura 5.13. Variación de los CF a lo largo del año 2003, en el efluente secundario de la EDAR de Castell Platja d'Aro, (CCB, 2004).

Efluente terciario

El proceso de regeneración del efluente secundario producido por la EDAR de Castell Platja d'Aro consiste en una filtración en arena, para reducir el contenido de MES, y una desinfección, para reducir la contaminación microbiana y asegurar una calidad sanitaria aceptable. El carácter estacional de la población hace conveniente adoptar un sistema de vigilancia diferente durante el invierno y el verano. Los resultados analíticos disponibles del tratamiento terciario abarcan desde enero de 2003 hasta julio de 2004. La Figura 5.14 indica que la producción de agua regenerada es muy variable a lo largo del año, con valores en el mes de agosto 20 veces superiores a los del mes de diciembre. Mientras que la mayor parte del agua regenerada producida durante el invierno se utiliza para la mejora ambiental del río Ridaura, la mayor parte del agua producida durante el

verano se utiliza par el riego agrícola y de jardinería. Los caudales de agua regenerada superan los 100.000 m³/mes durante los meses de mayo a agosto.

Los resultados de la Figura 5.14 permiten formular las siguientes conclusiones:

1. Los caudales de agua regenerada dedicados a la mejora ambiental del río Ridaura no varían apreciablemente de un mes a otro.
2. Los campos de golf conectados a la planta de regeneración no riegan durante el invierno, lo que limita considerablemente el grado de exposición del público al agua regenerada. Aunque esto podría considerarse como una circunstancia favorable para aceptar que la calidad microbiológica del agua pudiera ser inferior en invierno que en verano, la posibilidad real de que la exposición del público pueda producirse por otras vías (contacto del agua del río) y sobre todo el principio técnico de mantener unas normas estables de explotación y de mantenimiento de las instalaciones llevan a concluir en la necesidad de asegurar una misma calidad del agua durante todo el año, al margen de las utilizations preponderantes en cada período del año.
3. El riego por aspersión de los Jardines Hapimag representa un consumo de agua regenerada muy pequeño.

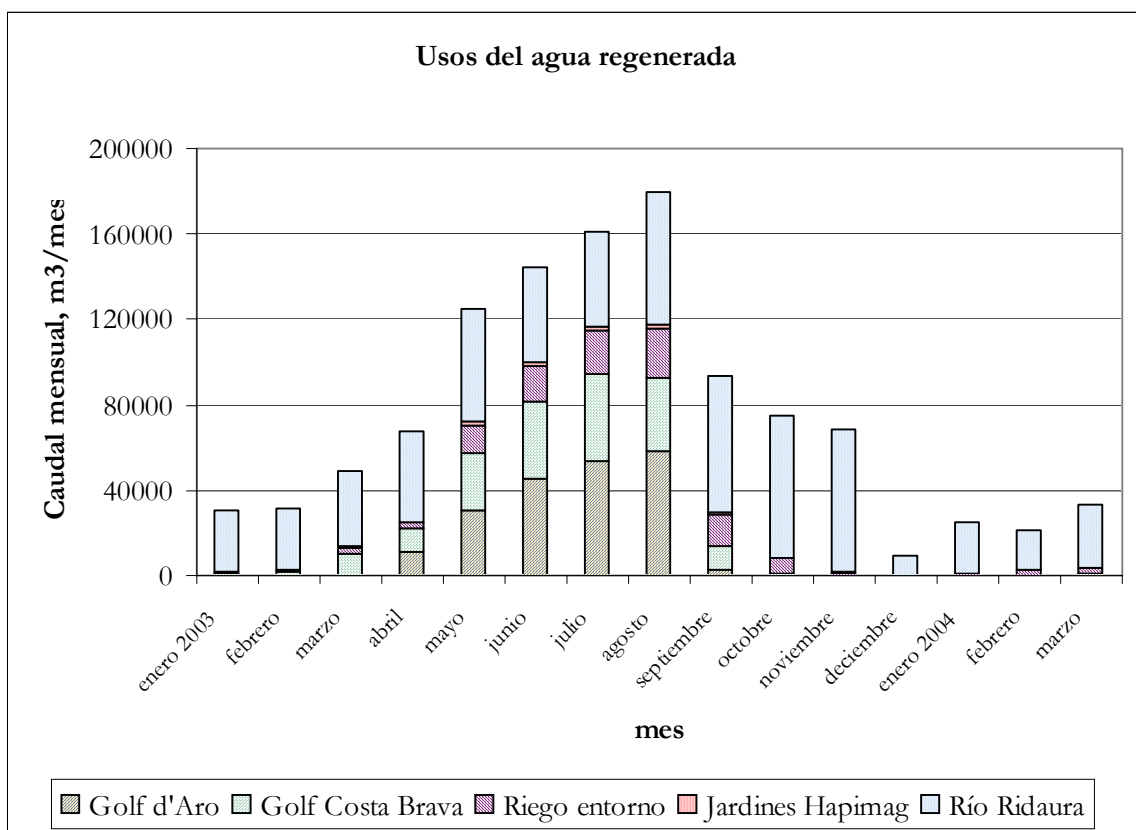


Figura 5.14. Usos del agua regenerada de la EDAR de Castell Platja d'Aro, (CCB, 2004).

Reducción de la MES

El tratamiento terciario se inicia con una floculación en línea, seguida de una filtración sobre arena, mediante filtros de tipo Hydro-clear. El objetivo de estos dos procesos es retener el máximo posible de la MES presente en el efluente biológico, de modo que la desinfección con luz UV y con hipoclorito sódico sean efectivas y permitan satisfacer los límites de calidad fijados

por la ACA (2003) para un agua regenerada: valores inferiores a 20 mg/l de MES y a 5 UNT de turbiedad.

La Figura 5.15 muestra un análisis comparativo de la concentración de MES del efluente biológico y del agua filtrada. El análisis de estos datos permite formular las siguientes conclusiones:

1. El filtro elimina una parte de la MES, ya que la mayor parte de los puntos experimentales están situados por debajo de la bisectriz.
2. El filtro registra episodios de funcionamiento insuficiente, bien sea porque requiere un lavado antes de lo previsto, o bien porque la floculación es inadecuada. La presencia de diversos puntos experimentales por encima de la bisectriz indica que la MES del efluente es superior a la del afluente. Esto es debido en parte a la falta de correspondencia entre la muestra afluente y la muestra efluente, en razón del tiempo necesario para que el agua atraviese el filtro.
3. La concentración máxima de MES en el efluente secundario es de 16 mg/l mientras que la concentración máxima de MES en el efluente filtrado es tan solo de 12 mg/l. Aunque todos los valores satisfacen el límite máximo de 20 mg/l fijados por la ACA, es evidente que el rendimiento del filtro es limitado y cabría esperar unos mejores resultados.
4. La concentración de MES del efluente secundario y del efluente terciario es más elevada en verano que en invierno.
5. La concentración de MES en el invierno se mantiene inferior a 6 mg/l, aunque el afluente del filtro llegue a alcanzar 15 mg/l. La concentración de MES en el verano aumenta hasta valores de 10 mg/l, con concentraciones afluentes de hasta 16 mg/l.

Aunque no se dispone de resultados de la calidad microbiológica del efluente filtrado, es sabido que una cierta parte de los microorganismos indicadores y patógenos presentes en el agua afluente queda retenida en el filtro, por efecto del impacto y el tamizado con la arena.

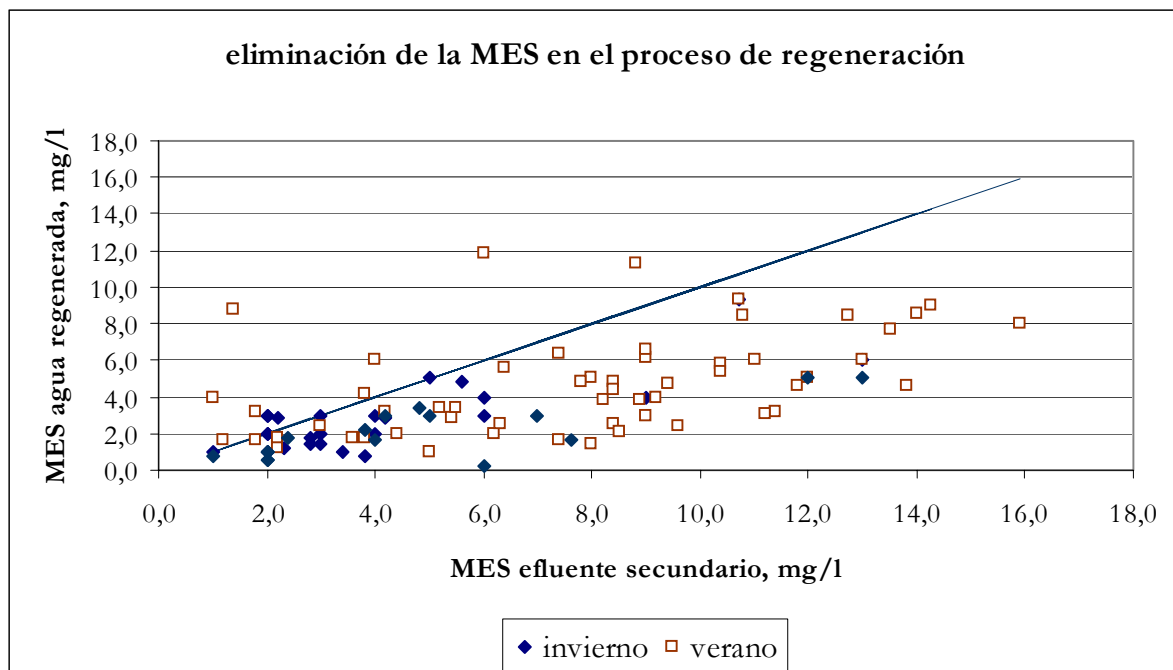


Figura 5.15. Eliminación de MES en los filtros Hydro-clear de la EDAR de Castell Platja d'Aro, (CCB, 2004).

La Figura 5.16 muestra estos mismos resultados, pero ordenados por fechas. Los resultados indican que el filtro llega a eliminar hasta un 50% del contenido de MES afluente. Se observa que el filtro no funcionó correctamente los días 2, 8 y 15 de julio de 2003. Según el jefe de la EDAR, estos fallos se debieron probablemente a la utilización de un coagulante caducado.

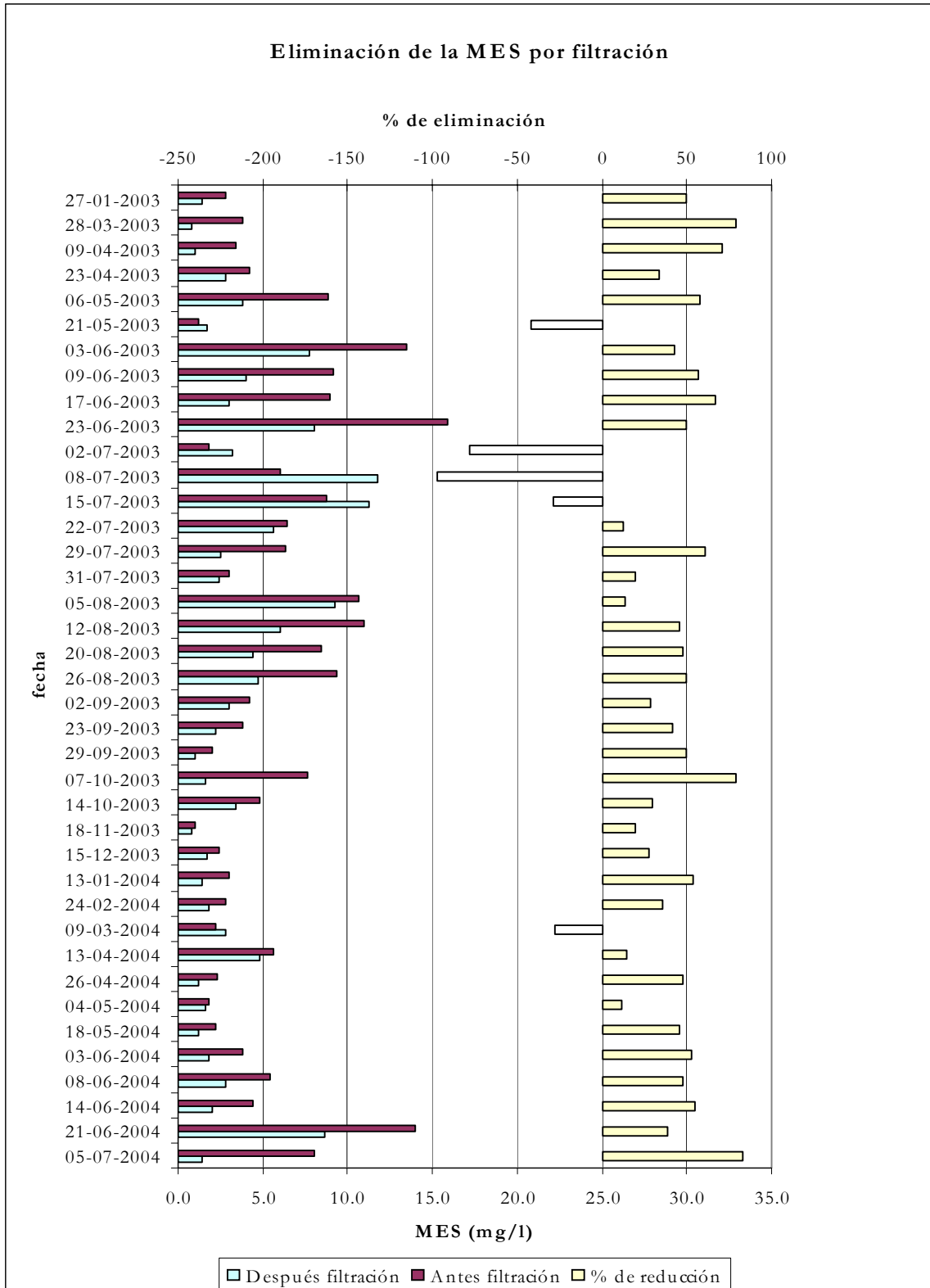


Figura 5.16. Eliminación de MES en el filtro de arena Hydro-clear de la EDAR de Castell Platja d'Aro, (CCB, 2004).

Inactivación de microorganismos patógenos

La desinfección del agua se realiza en dos etapas sucesivas: primero con luz UV y después con hipoclorito sódico. El proceso de desinfección es muy importante, porque determina la calidad sanitaria del agua regenerada. Aunque una pequeña parte de los microorganismos patógenos se elimina también mediante la filtración con arena, esta fracción suele ser insignificante en relación con la eliminada mediante estos dos procesos específicos de desinfección. Se dispone de resultados sobre la calidad microbiológica del agua antes de acceder al filtro Hydro-clear (PM3), después de pasar por el filtro y por el sistema de desinfección con luz UV (PM4), y después de ser sometida a la desinfección con hipoclorito (PM5).

La Figura 5.17 muestra la concentración de coliformes fecales presente en el agua antes (PM3) y después (PM5) del tratamiento terciario. Se puede observar que la inactivación de los CF es muy importante en todos los casos, superior a 4 ulog/100 ml, aunque registra notables variaciones entre unas muestras y otras. Los CF son inactivados por completo en un 50% de las muestras, aproximadamente. Por otra parte, la concentración de CF durante el verano es superior a la del invierno, tanto en el efluente secundario como en el agua regenerada (efluente terciario).

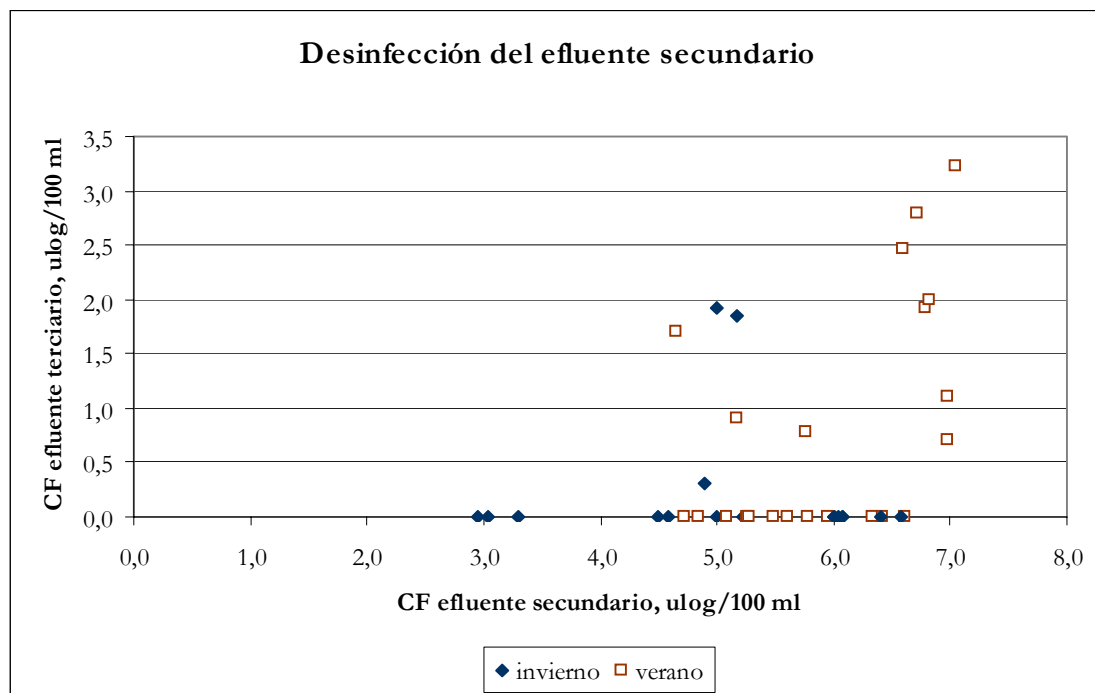


Figura 5.17. Coliformes fecales antes y después de la desinfección en la EDAR de Castell Platja d'Aro, (CCB, 2004).

Criterios de calidad de la ACA

Los requisitos de calidad que debe satisfacer un agua regenerada vienen determinados por el uso al que ésta será destinada. En Cataluña, la Agencia Catalana del Agua (ACA) ha establecido unos criterios de calidad para el agua regenerada, según el uso al que ésta se destine (Anejo 1). Los mayores requisitos de calidad corresponden al agua destinada a usos domiciliarios, seguidos por los aplicables a los usos urbanos y la recarga de acuíferos, y continuando por los requisitos aplicables al agua destinada a riego agrícola y de jardinería, o a mejora ambiental. En estas condiciones, un agua regenerada que cumpla los niveles de calidad aplicables al uso y servicios urbanos podrá ser utilizada también para riego agrícola y de jardinería, o para mejora ambiental.

La estrategia de producción de agua regenerada en la EDAR de Castell Platja d'Aro consiste en producir un solo tipo de agua, debido a la complejidad que representa producir agua de diferentes niveles de calidad. Los usos del agua previstos para el agua regenerada en la EDAR de Castell Platja d'Aro hacen que ésta deba cumplir siempre los niveles de calidad aplicables al uso y servicios urbanos (riego de campos de golf), cuyos valores se resumen en la Tabla 5.5. El cumplimiento de estos niveles de calidad dependerá del correcto funcionamiento de la planta en su conjunto, así como de las características del agua residual cruda.

Tabla 5.5. Criterios de calidad del agua regenerada para el riego de campos de golf (Agencia Catalana del Agua, 2003)

Parámetro	Valor límite	Parámetro	Valor límite
Huevos de Nemátodos (no./l)	1	Manganeso (mg/l)	2
<i>Escherichia coli</i> (ufc/100 ml)	200	Níquel (mg/l)	2
Materia en suspensión (mg/l)	20	Mercurio (mg/l)	0,05
Turbiedad (NTU)	5	Plomo (mg/l)	0,2
pH	6 < pH < 9	Estaño (mg/l)	10
Conductividad (μ S/cm)	3000	Cobre (mg/l)	0,2
B (mg/l)	1-2	Cinc (mg/l)	3
Cd (mg/l)	0,01	Cianuros (mg/l)	0,5
Mo (mg/l)	0,05	Cloruros (mg/l)	2.000
Se (mg/l)	0,02	Sulfuros (mg/l)	1
Sólidos gruesos	Ausentes	Sulfitos (mg/l)	1
DBO ₅ (mg/l)	40	Sulfatos (mg/l)	2.000
DQO (mg/l)	160	Fluoruros (mg/l)	6
Temperatura (°C)	<3°C incremento	Fósforo total (mg/l)	10
Color	Inapreciable en disolución 1/20	Amoníaco (mg/l)	15
Aluminio (mg/l)	1	Nitrógeno nítrico (mg/l)	10
Arsénico (mg/l)	0,5	Aceites y grasas (mg/l)	20
Bario (mg/l)	20	Fenoles (mg/l)	0,5
Cromo III (mg/l)	2	Aldehídos (mg/l)	1
Cromo IV (mg/l)	0,2	Detergentes (mg/l)	2
Hierro (mg/l)	2	Pesticidas (mg/l)	0,05

La Tabla 5.5 incluye tanto parámetros de calidad sanitaria del agua como parámetros de calidad ambiental. Así por ejemplo, establece una concentración de cloruros inferior a 2.000 mg/l. Aunque sobrepasar ese límite no comporta un riesgo sanitario, sí puede afectar al desarrollo de las plantas o la calidad del suelo. Por otra parte, son numerosos los posibles peligros biológicos y químicos que no están incluidos en esta tabla.

Además de esos límites de calidad del agua regenerada, la ACA establece unas condiciones para su correcta utilización. Esas condiciones son tres:

1. Respetar una zona de protección de 30 metros de diámetro alrededor de los pozos de abastecimiento.
2. Regar por aspersión durante las horas en que no haya afluencia de público.
3. Respetar una pendiente máxima del terreno de aplicación del 15%.

La primera condición trata de impedir la contaminación de un acuífero que se utilice como fuente de abastecimiento de agua potable. La segunda condición trata de disminuir la probabilidad de exposición del público al agua regenerada. Si se riega durante la noche, cabe esperar que el número de personas expuestas al contacto con el agua sea prácticamente nulo, aunque esta circunstancia será notablemente diferente en el caso de la limpieza de calles o en el de riego de zonas verdes. La tercera condición trata de asegurar que el agua regenerada no discurra por el suelo, sino que se infiltre preferentemente en el lugar donde está previsto que lo haga.

ANÁLISIS DE LOS PELIGROS

La mayoría de los peligros que conlleva un agua regenerada están asociados a las propiedades del agua residual cruda que no han sido adecuadamente corregidas durante el proceso de depuración y de regeneración. El único peligro adicional aportado por el proceso de regeneración es el debido a los subproductos generados durante el proceso de desinfección, por reacción del cloro con la materia orgánica disuelta en el agua regenerada. No obstante, este peligro no reviste una importancia tan considerable como la que alcanza durante el proceso de potabilización del agua.

Por estos motivos, el análisis de los peligros asociados al uso de un agua regenerada se centrará en la valoración del agua residual bruta y en el análisis de las etapas de tratamiento destinadas a mitigar los peligros propios del agua residual bruta. En definitiva, se trata de concentrar la atención en los procesos de desinfección del agua. Además de considerar estos peligros, conviene prestar atención también a determinados productos o eventos que, aún sin constituir un peligro en sí mismos, tienen la posibilidad de aumentar el riesgo de que aparezca un peligro, o pueden afectar a la calidad general del agua regenerada.

Peligros del agua residual afluyente a la EDAR

Peligros químicos

Los problemas sanitarios provocados por los productos químicos suelen estar ligados a la ingestión de pequeñas dosis durante un largo periodo de tiempo. Aunque el agua regenerada no está destinada al consumo humano, es importante respetar unas concentraciones límites de ciertos compuestos. Determinadas sustancias, como los metales pesados, tienen la propiedad de acumularse en los organismos vivos. La acumulación de estos metales en los cultivos regados con agua depurada puede propiciar su acceso posterior a la cadena trófica, pudiendo así afectar a la alimentación de las personas.

Considerando que la red de alcantarillado de Castell Platja d'Aro no recibe vertidos industriales, la concentración media de determinadas sustancias, como los metales pesados, en el afluyente a la EDAR es generalmente baja, aunque puede aumentar si se registra un vertido tóxico accidental o intencionado en la red. Aunque la probabilidad de un evento de este tipo es muy baja, sus consecuencias pueden ser importantes. Una detección tardía de esta circunstancia puede hacer que el cultivo biológico del proceso de depuración se vea notablemente afectado, durante un período más o menos largo de tiempo. Una estrategia usualmente utilizada cuando se detecta una de estas situaciones es desviar el afluyente contaminado, mediante el by-pass que la EDAR suele tener después de los procesos mecánicos de desarenado y desengrasado. Este vertido parcialmente tratado puede contaminar el río o el mar, dependiendo de su capacidad de dilución, lo que puede hacer necesaria la implantación de una prohibición temporal del baño y de la pesca, hasta que la calidad del agua recupere un nivel adecuado.

Peligros biológicos

Los peligros biológicos de un agua residual doméstica son muy importantes. La principal fuente de peligro biológico son los microorganismos patógenos que suele contener y que corresponden a cuatro grandes categorías: 1) las bacterias, 2) los virus, 3) los protozoos, y 4) los helmintos. La EDAR de Castell Platja d'Aro no realiza análisis microbiológicos del agua afluyente. La Tabla 5.6 resume las concentraciones típicas de los microorganismos más representativos de un agua residual doméstica.

Tabla 5.6. Concentraciones usuales de microorganismos en un agua residual doméstica, en número de microorganismos por 100 ml (unidades logarítmicas). Fuente: Vergés y Salgot (2003).

Microorganismo	Concentración alta	Concentración baja
<i>E. coli</i>	5.10 ⁸ (8,7)	10 ⁶ (6)
Coliformes	10 ¹³ (13)	10 ¹¹ (11)
<i>Clostridium perfringens</i>	5.10 ⁴ (4,7)	10 ³ (3)
Estreptococos fecales	10 ⁸ (8)	10 ⁶ (6)
Salmonella	300 (2,5)	50 (1,7)
Campylobacter	10 ⁵ (5)	5.10 ³ (3,7)
Listeria	10 ⁴ (4)	5.10 ² (2,7)
Staphylococcus aureus	10 ⁵ (5)	5.10 ³ (3,7)
Colifagos	5.10 ⁵ (5,7)	10 ⁴ (4)
Giardia	10 ³ (3)	10 ² (2)
Helmintos	20 (1,3)	5 (0,7)
Enterovirus	10 ⁴ (4)	10 ³ (3)
Rotavirus	100 (2)	20 (1,3)

Peligros del proceso de tratamiento

El peligro más importante del proceso de tratamiento de una EDAR es la supervivencia de los microorganismos patógenos. Los procesos de depuración y de regeneración constituyen un sistema de barreras múltiples para la inactivación de estos microorganismos. Las etapas más importantes de estos procesos son la desinfección con luz UV y la cloración. Estas dos etapas permiten inactivar una fracción importante de los microorganismos presentes. La Tabla 5.7 muestra el grado de inactivación de los coliformes fecales que puede conseguirse mediante cada una de las etapas de tratamiento, considerado como un sistema de barreras múltiples. No se dispone de estudios concretos sobre la eficacia de cada una de las etapas del proceso para eliminar microorganismos patógenos.

Tabla 5.7. Grado de inactivación (ulog/100 ml) de las etapas del proceso de depuración y de regeneración, como sistema de barreras múltiples frente a los microorganismos patógenos (Adaptado de Australian Drinking Water Guidelines, 2002)

Organismo	Tratamientos 1º y 2º	Filtración	Desinfección con luz UV	Desinfección con Cloro	Total
Coliformes fecales	0,5 – 1	0 – 0,5	2,4 – 3,2	Eliminación total posible con un C.t adecuado	Eliminación total posible

Como se puede observar en la Tabla 5.7, las etapas de desinfección consiguen un grado de inactivación mucho mayor que las restantes. Por tanto, cualquier incidencia en una las dos etapas de desinfección tendrá unas consecuencias importantes sobre la calidad microbiológica del agua regenerada. A continuación se describen los fallos que se pueden registrar.

Desinfección con UV

Todo lo que pueda suponer una reducción de la intensidad de luz UV recibida por los microorganismos patógenos es una fuente de peligro, ya que la luz UV es la responsable de la inactivación microbiana causada por el deterioro del ADN de los microorganismos.

1. La circunstancia desfavorable más frecuente es que la transmitancia del agua a la luz UV sea insuficiente. La MO disuelta y el cloruro férrico remanente son dos de los componentes de un agua que pueden disminuir su transmitancia. Una concentración de MO demasiado alta puede deberse a deficiencias en el proceso de aireación del tratamiento secundario. Una dosis excesiva de cloruro férrico, añadido al afluente para mitigar la presencia de los sulfuros generados durante su transporte en la red de

alcantarillado, puede hacer que su concentración residual reduzca la transmitancia de la luz UV.

2. La presencia de MES en el efluente del filtro, en forma de pequeñas partículas en suspensión, pueden servir de protección para los microorganismos ante los efectos de los desinfectantes, tanto en forma de luz UV como de hipoclorito. La MES puede valorarse de forma indirecta mediante la turbiedad del agua. De este modo, una turbiedad elevada dificultará el funcionamiento correcto de la desinfección con luz UV, y hará que una filtración eficaz tenga una importancia primordial en el proceso de desinfección posterior.
3. Una potencia inadecuada de las lámparas de luz UV hará que la intensidad de luz UV recibida por los microorganismos patógenos sea insuficiente. Hay dos posibles razones para explicar esta situación:
 - a. La potencia de las lámparas disminuye a medida que progresa su tiempo de servicio. Conviene por tanto verificar la edad de las lámparas, valorada generalmente mediante su número de horas de funcionamiento.
 - b. La formación de una biopelícula sobre la superficie externa de las lámparas provoca una absorción de la luz UV emitida, haciendo disminuir la intensidad recibida por el agua. Las lámparas deben limpiarse para minimizar esta interferencia. Los procesos de limpieza de automática suelen activarse cada 15 minutos.

La Figura 5.18 muestra la calidad del agua medida mediante su turbiedad y su transmitancia a la luz UV. La medida de la transmitancia se suele obtener de forma automática, mediante un sensor de lectura continua de que está dotado el equipo de desinfección con luz UV. El sensor no mide directamente la transmitancia del agua, sino la intensidad de luz UV que recibe el agua. Por tanto, esta medida tiene en cuenta la reducción progresiva de la intensidad de las propias lámparas, tanto por el tiempo de servicio como por desarrollo que pueda haber alcanzado la biopelícula. Esta medida experimental tiene gran importancia práctica porque es la intensidad de luz UV recibida por el agua, lo que determina a su vez la tasa de inactivación microbiana que puede alcanzar. En la práctica, esta intensidad puede estimarse también mediante unas tablas propuestas por el fabricante, en las que se considera el tiempo de servicio de las lámparas y la transmitancia experimental del agua, y se supone que no existe biopelícula.

Los resultados indicados en la Figura 5.18 permiten formular las siguientes conclusiones:

1. La turbiedad del agua es mayor durante el verano, y por tanto su transmitancia es menor que en otras épocas del año.
2. La transmitancia del agua durante el verano es un 10% inferior a la del resto del año, aún en condiciones de igualdad de turbiedad, debido sin duda a la presencia de restos del cloruro férrico añadido al afluente de la EDAR y a una concentración más elevada de MO disuelta en el efluente biológico.
3. La transmitancia del efluente filtrado durante el verano es generalmente inferior al 60%. Una transmitancia tan limitada reduce considerablemente la eficiencia de la desinfección con luz UV.

La Figura 5.19 muestra la eficiencia de la desinfección con luz UV en función de la turbiedad y de la transmitancia del agua en el PM4. Estos resultados experimentales incorporan la pequeña inactivación microbiana que ocurre durante el paso del agua por el filtro de arena, ya que las determinaciones de CF se realizan en muestras tomadas en el PM3, antes de la filtración, y en el PM4, después de la desinfección con luz UV.

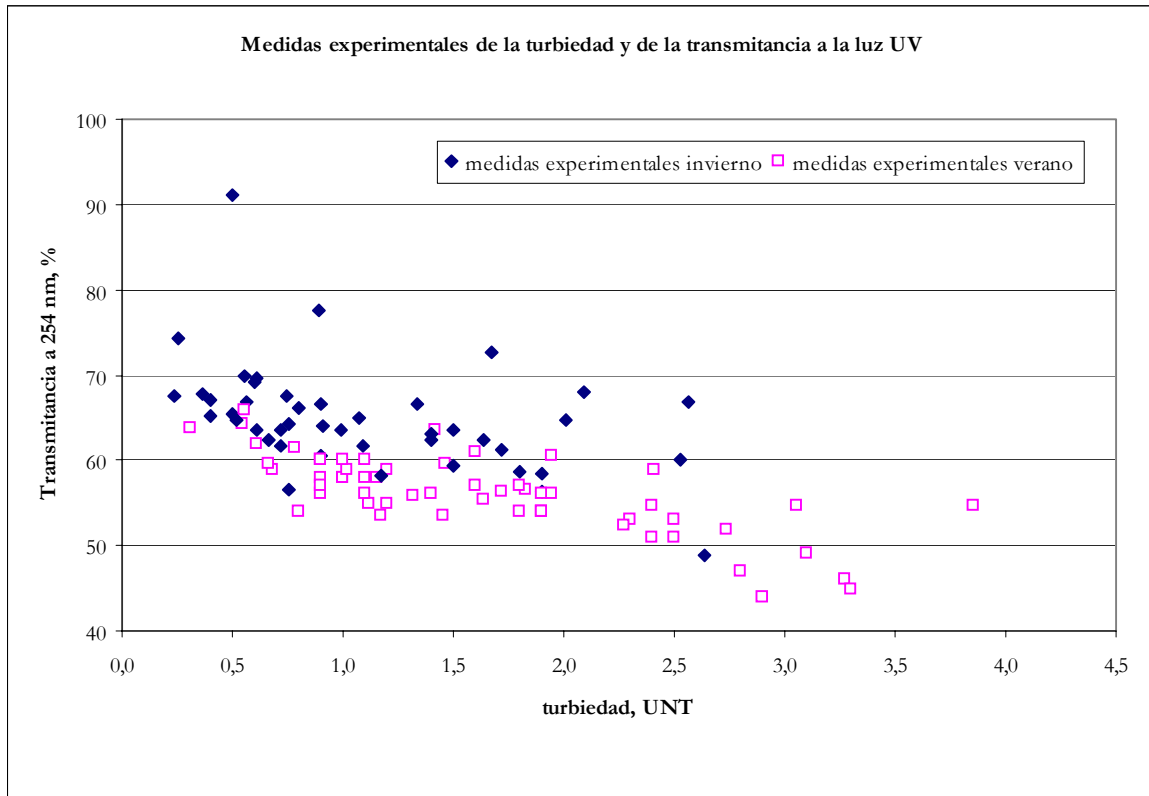


Figura 5.18. Relación entre la transmitancia y la turbiedad del agua regenerada en la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).

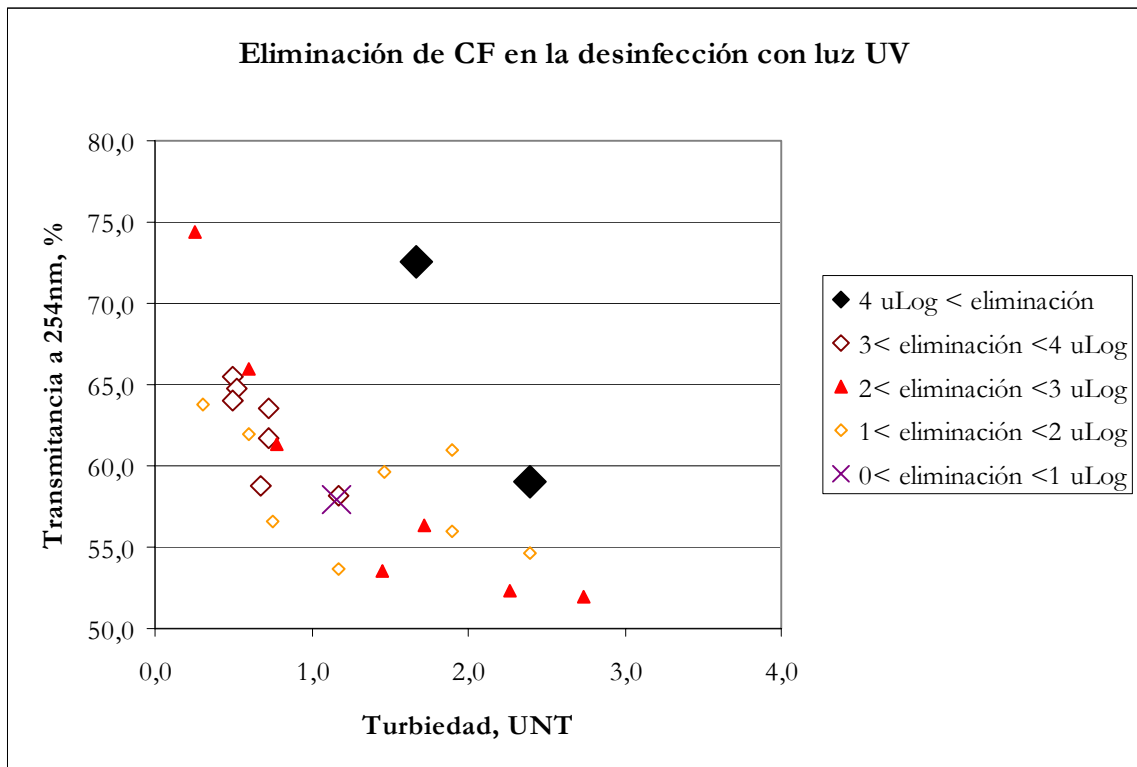


Figura 5.19. Eficacia del proceso de desinfección con luz UV, en uLog, en la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).

Los resultados indicados en la Figura 5.19 permiten formular las siguientes conclusiones:

1. La eficacia de la desinfección aumenta a medida que lo hace la transmitancia del agua y disminuye su turbiedad.
2. Sin embargo, la eficiencia realmente observada registra una notable variabilidad en iguales condiciones de calidad del agua, medida en términos de su transmitancia y su turbiedad. Esto indica que o bien existen otros factores determinantes de la eficacia de la desinfección, o bien la valoración de esos parámetros y de lo propia inactivación microbiana comporta una notable imprecisión.

La Figura 5.20 muestra los resultados históricos de la inactivación de CF conseguida conjuntamente por el proceso de filtración con arena y el de desinfección con luz UV. Los resultados de la Figura 5.20 permiten formular las siguientes conclusiones:

1. La concentración efluente de CF durante el verano es superior a la registrada durante el invierno.
2. La tasa media de inactivación de CF durante el invierno es de 3,1 ulog/100 ml, mientras que durante el verano queda reducida a 2,5 ulog/100 ml.
3. La tasa de inactivación alcanzada es inferior a la estimada por el fabricante de los equipos, cifrada en el intervalo de 4 a 4,8 ulog/100 ml para una transmitancia superior al 55%.

En definitiva, la tasa de inactivación experimental del proceso es inferior al estimado de acuerdo con los protocolos del fabricante de los equipos, y depende de la transmitancia del agua, de la intensidad de luz UV aplicada y de la turbiedad del agua. Puede decirse que estos dos últimos parámetros son por sí solos insuficientes para determinar la tasa de inactivación real con una fiabilidad adecuada. Además, la tasa de inactivación disminuye durante el verano, debido a la menor transmitancia y al mayor contenido de MES del efluente secundario.

Desinfección con cloro

La desinfección con cloro tiene lugar mediante el contacto íntimo de los microorganismos patógenos con el ácido hipocloroso, el ión hipoclorito (ambos forman el denominado cloro libre) y los diferentes derivados clorados, principalmente las cloraminas inorgánicas (denominadas cloro combinado) que se forman por reacción del cloro libre con el nitrógeno amoniacal de agua. Cualquier circunstancia que limite o impida ese contacto afectará a la eficacia de la desinfección. Existe una amplia evidencia histórica de que este proceso puede conseguir la eliminación total de numerosos patógenos, y de que la presencia de cloro residual protege el agua desinfectada ante posibles contaminaciones posteriores.

Por otra parte, el cloro libre tiene una especial afinidad por la materia orgánica que pueda contener un agua, reaccionando con ella y dando lugar a diversos subproductos de la desinfección que tienen características indeseables (cancerígenos o mutagénicos, en algunos casos). Por otra parte, la presencia de nitrógeno amoniacal propicia la formación de cloraminas, mucho menos reactivas con la MO que el cloro libre, y con un menor potencial de generación de subproductos de la desinfección. El hecho de que el agua regenerada no esté destinada al consumo humano hace que la presencia de estos subproductos en pequeñas concentraciones (en algunos casos inferiores a las toleradas en aguas de abastecimiento) no revista una importancia comparable a la asociada la posible presencia de microorganismos patógenos.

Las diferentes situaciones de riesgo que se pueden presentar durante el proceso de desinfección con cloro son las siguientes:

1. El problema más frecuente que presentan los procesos de cloración suele ser un valor del producto C.t (concentración de cloro residual x tiempo de contacto) demasiado baja.

Además, tanto la concentración de cloro como su tiempo de contacto con el agua deben ser lo más uniformes posibles y alcanzarse antes de efectuar la reutilización del agua.

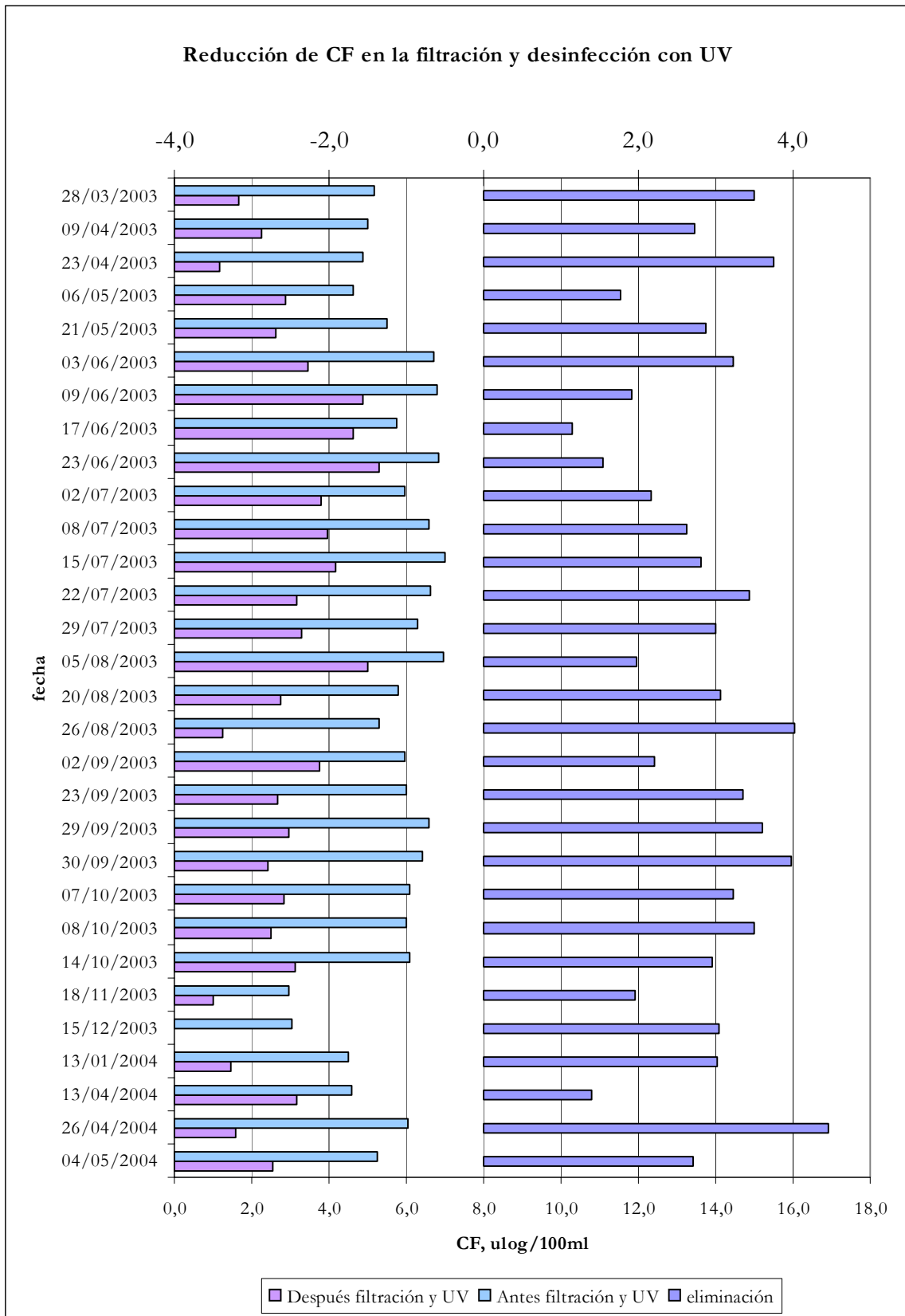


Figura 5.20. Inactivación de CF mediante la filtración y la desinfección con luz UV en la planta de regeneración de agua de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).

2. La MES puede servir de escudo protector de ciertos microorganismos frente al efecto del desinfectante. Conviene vigilar la concentración de MES, mediante medidas indirectas como la turbiedad del agua, para asegurar que satisface los límites establecidos.
3. Aunque la eficacia del proceso de desinfección con cloro libre depende del pH del agua, y la aportación de hipoclorito sódico tendrá tendencia a aumentar el pH del agua, la desinfección de aguas de marcado carácter alcalino hace que, en la práctica, el pH se mantenga estable y muy próximo al inicial del agua, sin que se vea alterado significativamente por la adición de hipoclorito sódico.
4. Cualquier incidencia en el sistema de desinfección con cloro puede tener consecuencias muy importantes en la calidad sanitaria del agua: los microorganismos patógenos que no hayan sido inactivados por deficiencias del proceso no encontrarán ninguna otra barrera posterior que pueda inactivarlos, y además el agua quedará desprotegida frente a las consecuencias directas e indirectas del posible crecimiento bacteriano (biopelícula) durante su almacenamiento y transporte posteriores.

La Figura 5.21 muestra la inactivación de CF conseguida durante el proceso de regeneración del agua. Los resultados experimentales abarcan desde enero de 2003 a julio de 2004. La frecuencia de muestreo depende de la cantidad de agua regenerada, por lo que el número de valores durante el verano es superior al del invierno. La línea de color rojo representa el límite de calidad de 200 ufc/100ml de *E. coli* establecido por la ACA. Aunque los resultados experimentales están referidos a coliformes fecales, la circunstancia de que *E. coli* forme una fracción mayoritaria de los coliformes fecales, hace que el límite establecido por la ACA tenga carácter conservador y pueda utilizarse correctamente para valorar los resultados de la Figura 5.21.

El análisis de los resultados de la Figura 5.21 permite formular las siguientes conclusiones:

1. El límite de calidad de la ACA fue superado en 3 ocasiones de entre un total de 41 valores experimentales, lo que representa una tasa de conformidad del 93%. Mientras que dos de esos tres valores excesivos superaron el límite por un escaso margen, el tercero lo superó en 1 ulog/100 ml.
2. Los resultados experimentales del año 2004 confirman la ausencia de CF en el agua regenerada, aunque los valores disponibles no incluyen toda la temporada estival, que es la más crítica a este respecto.
3. El efluente secundario experimentó una ligera mejoría durante el verano de 2004.
4. En condiciones óptimas de funcionamiento, la desinfección con cloro permite alcanzar una tasa de inactivación de los CF de 4 ulog/100 ml.
5. La cristalización del hipoclorito sódico en el conducto de dosificación, en un tramo inaccesible del depósito, provocó su obturación en diversas ocasiones durante el verano del año 2003. Para evitar esta posible incidencia se instalaron tres conductos alternativos para la dosificación de hipoclorito.

La Figura 5.22 muestra la frecuencia acumulada de la concentración de CF tanto en el efluente secundario, como en el agua desinfectada con luz UV y en el agua regenerada producida por la planta. Las gráficas resultantes indican claramente que un 65% de las muestras experimentales estaban desprovistas de CF y que un 90% de las muestras tenía una concentración de CF inferior a 2 ulog/100 ml.

La Figura 5.23 muestra un análisis gráfico similar, pero utilizando las concentraciones de CT registradas durante el año 2003. Aunque el número de datos experimentales disponibles es menor que el correspondiente a los CF, la tendencia estadística es muy similar a la de la Figura 5.22.

Por último, la Figura 5.24 muestra el análisis gráfico de la concentración de EF en los mismos puntos de muestreo del proceso de regeneración de agua, durante el año 2003. Un análisis

comparativo de las figuras 5.22, 5.23 y 5.24 permite concluir que el proceso de desinfección de los EF con luz UV tiene una menor fiabilidad (mayor variabilidad) que el de los CF y CT, con un intervalo de variación para los primeros de entre 1 y 4 ulog/100 ml. Por el contrario, la desinfección con hipoclorito sódico tiene una mayor fiabilidad, como refleja el hecho de que más del 60% de las muestras de agua están desprovistas de EF, y la máxima concentración de EF registrada es de 1 ulog/100 ml.

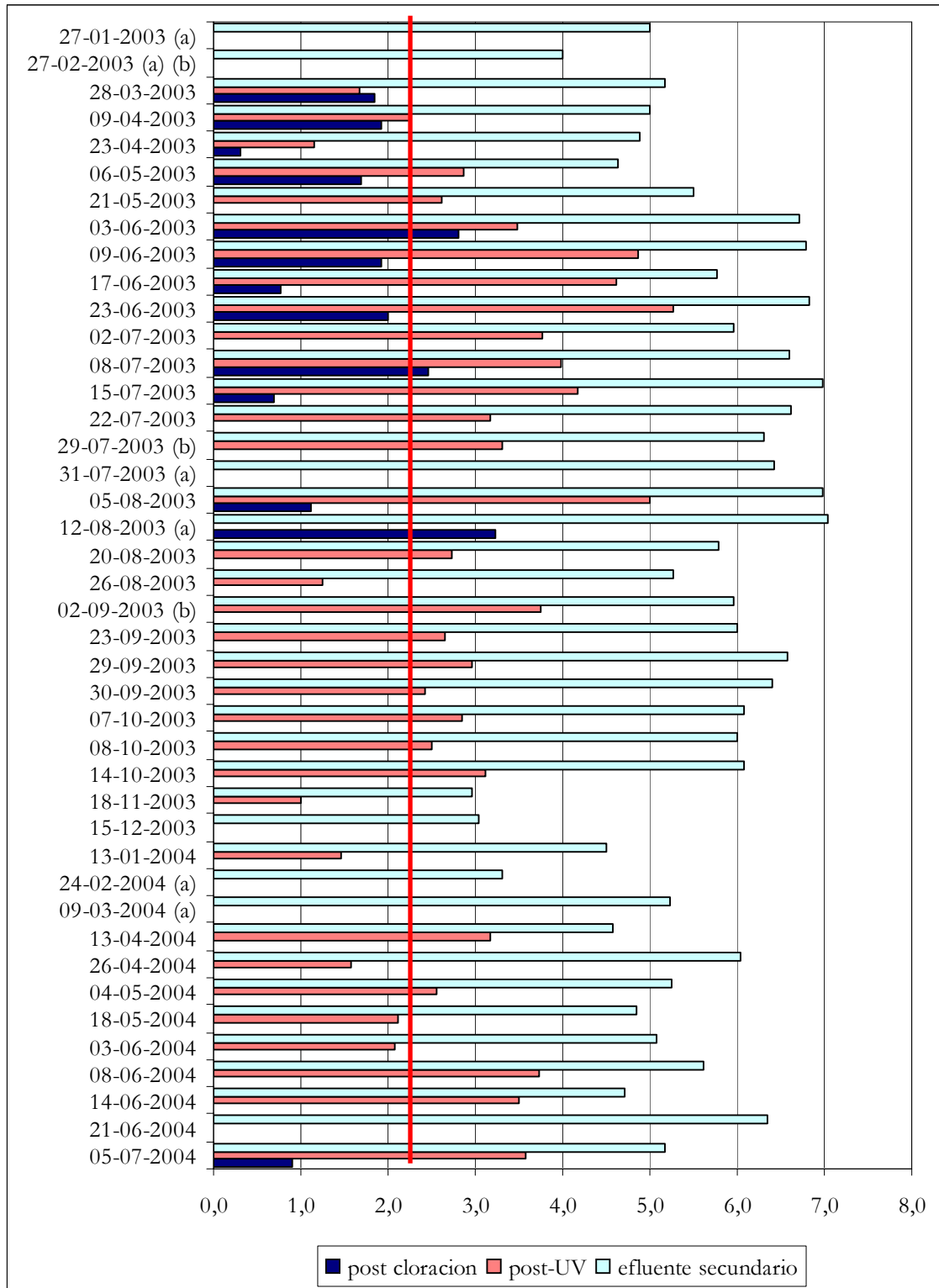


Figura 5.21. Inactivación de CF en el proceso de regeneración de agua de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004) a) No hay valor después de luz UV, b) No hay valor después de la cloración.

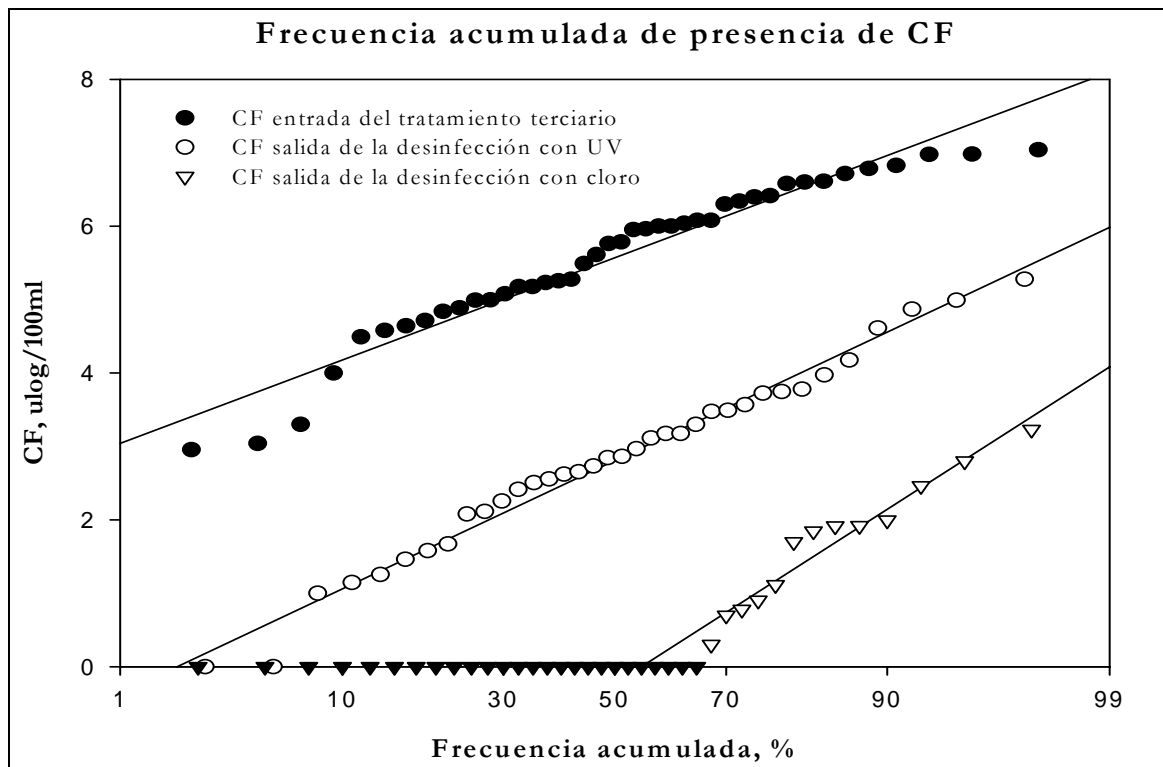


Figura 5.22. Distribución estadística de la concentración de CF entre 2003 y 2004 en varias etapas del proceso de regeneración de agua de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).

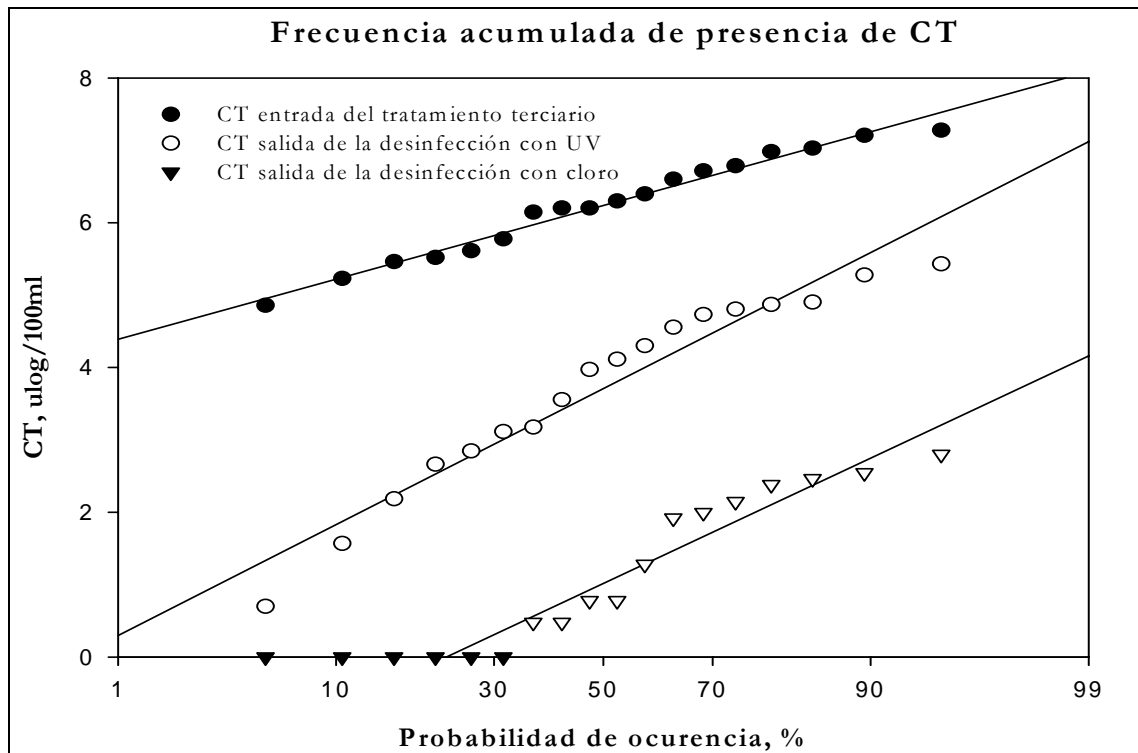


Figura 5.23. Distribución estadística de la concentración de CT durante el 2003 en varias etapas del proceso de regeneración de agua de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).

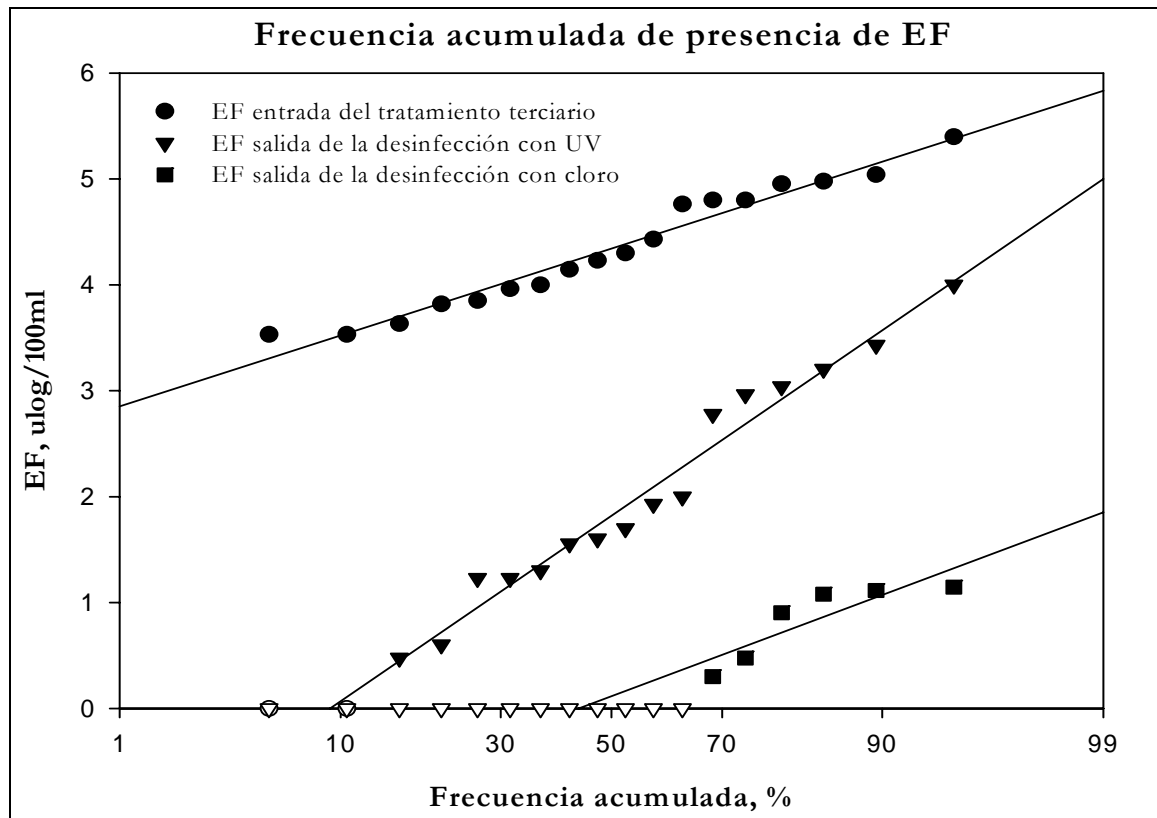


Figura 5.24. Distribución estadística de la concentración de EF durante el 2003 en varias etapas del proceso de regeneración de agua de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).

Tiene especial interés analizar la eficiencia del proceso de desinfección con cloro, especialmente en lo que concierne a su capacidad para controlar la concentración de CF en el efluente de agua regenerada. Conviene señalar no obstante que las medidas experimentales de la dosis inicial de cloro no se realizaron de forma sistemática durante el año 2003 y principios del 2004, y que los valores fueron obtenidos generalmente al inicio del laberinto de desinfección, pero también en la arqueta o en el depósito de almacenamiento. Desde el verano 2004, las medidas experimentales se realizan sistemáticamente en el laberinto de desinfección. La Figura 5.25 muestra la relación entre la concentración de CF y la concentración de cloro total en el efluente de agua regenerada. Los resultados muestran que la aplicación de una concentración de 3 mg/l de cloro residual total permite asegurar la ausencia de CF, mientras que una concentración de entre 2 y 3 mg/l de cloro residual total permite asegurar una concentración de CF inferior a 2 ulog/100 ml.

Resulta difícil realizar un análisis del proceso de desinfección basado en las medidas experimentales del cloro residual al final del laberinto de desinfección, pues los resultados disponibles aparecen agrupados en concentraciones de cloro residual (0,0 – 0,1 – 0,2 – 0,3 mg/l). La Figura 5.26 muestra los resultados disponibles, de los que se puede concluir que una concentración de cloro residual igual o superior a 0,3 mg/l permite obtener un agua regenerada desprovista de CF, mientras que una concentración de cloro residual de 0,2 mg/l hace que la concentración de CF pueda oscilar entre 0 y 2,5 ulog/100 ml.

Peligros del Almacenamiento

El cloro residual disminuye con el paso del tiempo, de modo que un almacenamiento prolongado del agua regenerada puede hacer que el cloro residual desaparezca por completo. En esas condiciones, el agua queda desprotegida ante la posible aparición o incorporación de microorganismos patógenos que pueden proliferar y contaminar nuevamente el agua.

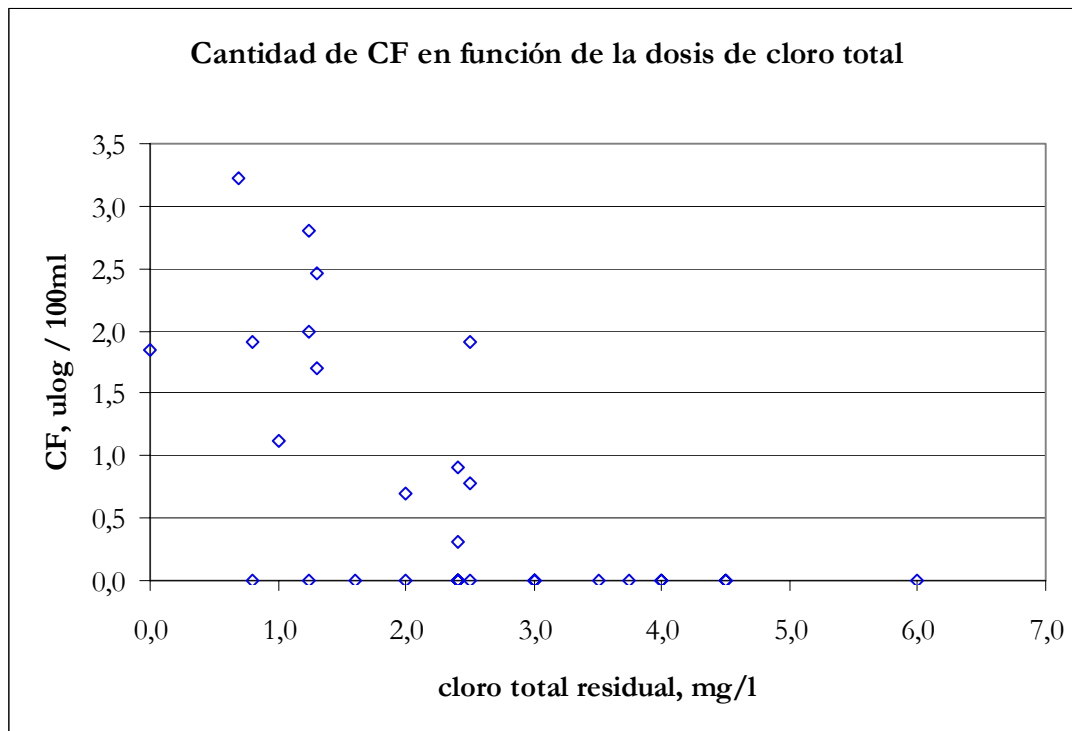


Figura 5.25. Contenido de CF en función del cloro total, en el proceso de regeneración de agua de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).

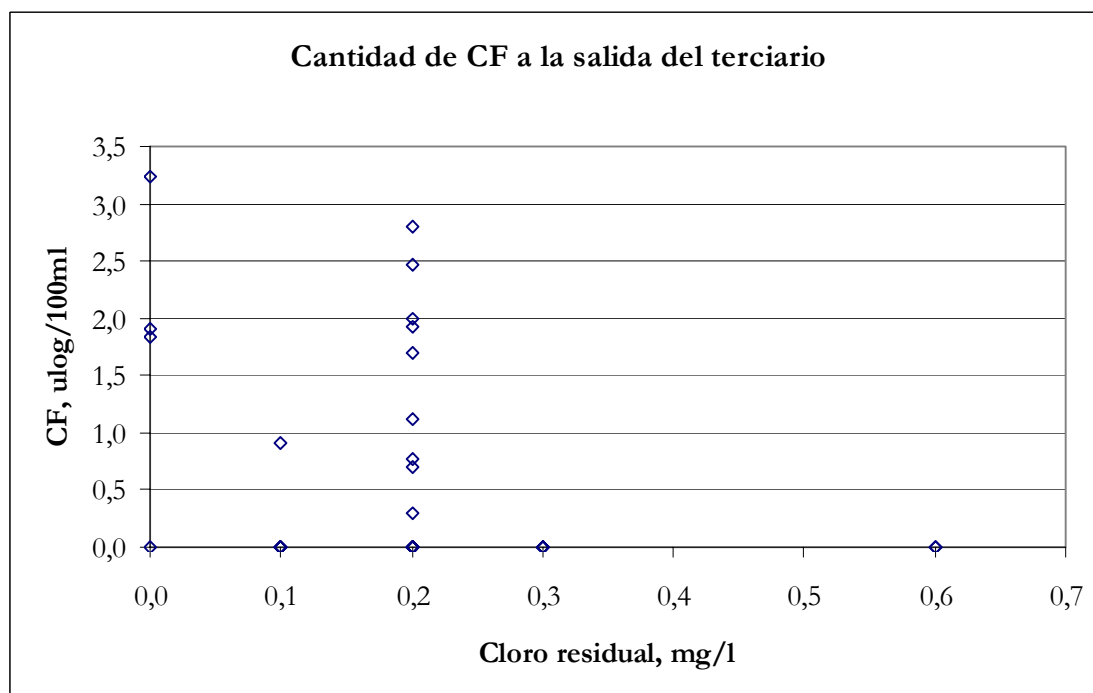


Figura 5.26. Contenido de CF del agua regenerada, en función del contenido de cloro residual, en el proceso de regeneración de agua de la EDAR de Castell Platja d'Aro (CCB, 2004).

El crecimiento de bacterias o protozoos (amebas) en los depósitos de almacenamiento se puede evitar impidiendo la recontaminación del agua tratada. Para ello basta asegurar que el agua que se vierte en los depósitos está siempre correctamente desinfectada. La recontaminación puede producirse también por medio de las aves salvajes y de otros animales que frecuentan las proximidades de los lagos abiertos utilizados para almacenar el agua. La Figura 5.27 muestra la

evolución del contenido de CF en diferentes puntos de almacenamiento del agua regenerada en la EDAR de Castell Platja d'Aro. Los lagos de almacenamiento L2S y L1R pertenecen a las instalaciones del Golf d'Aro. El tiempo de permanencia hidráulica de estos lagos es del orden de una semana.

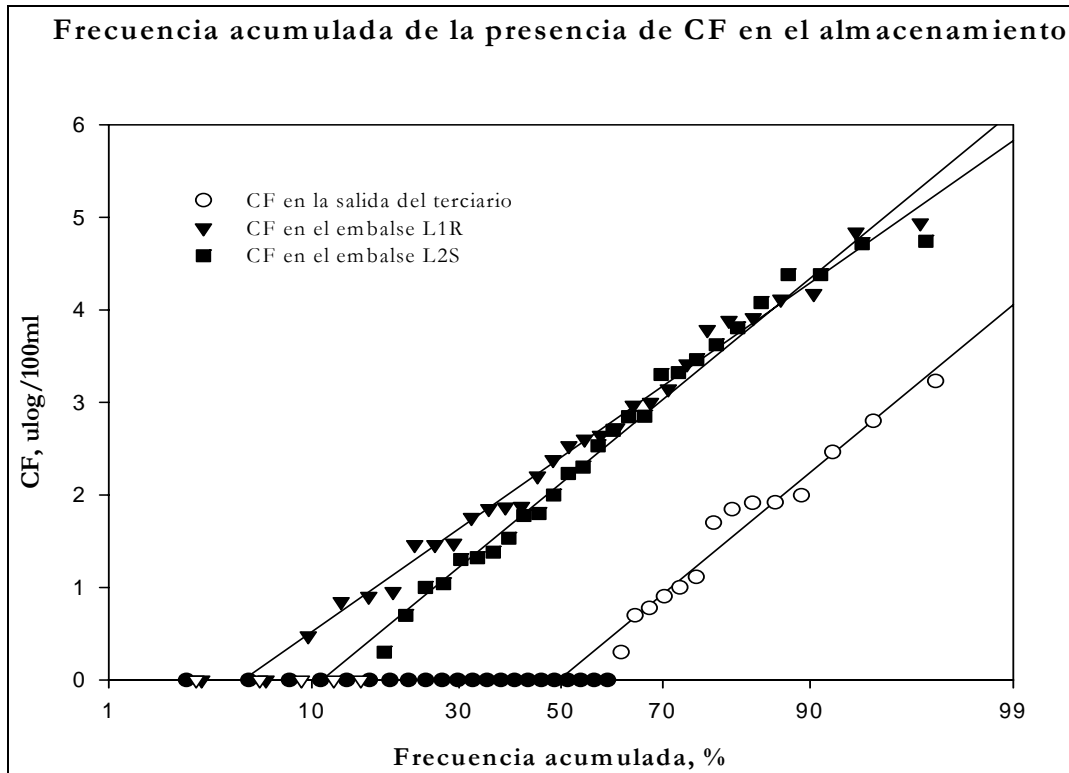


Figura 5.27. Evaluación estadística de la calidad del agua regenerada y del agua almacenada en los lagos ornamentales del golf d'Aro, mediante su contenido de coliformes fecales (CCB, 2004).

El incremento del contenido de CF en los depósitos de almacenamiento, con respecto al que tenía el agua regenerada a su salida de la planta, puede explicarse por diversos procesos:

1. La presencia de microorganismos que no fueron inactivados durante el proceso de desinfección.
2. agua regenerada bien desinfectada se mezcla con el agua presente en los depósitos, que contiene una cierta concentración de microorganismos.
3. La capacidad desinfectante del cloro residual presente en el agua regenerada queda prácticamente anulada tras su mezcla con el agua presente en los lagos.
4. Los animales presentes en las inmediaciones de los lagos contaminan el agua con materia fecal.
5. Los microorganismos presentes en el agua regenerada experimentan un proceso de foto-reactivación después de ser sometidos a una dosis baja de luz UV.

Es difícil determinar qué importancia relativa pudieron tener estos diversos procesos en la producción de los resultados observados. Más de la mitad de las muestras obtenidas sobrepasan el límite de 200 ufc/100 ml. No obstante, conviene señalar que en ciertas normativas, como la del estado de California, para satisfacer los límites reglamentarios basta con que se cumpla con el valor límite en un punto del proceso de regeneración, pues se considera que, una vez alcanzado ese nivel de inactivación, los microorganismos no volverán a crecer (carecen del habitat específico, el intestino de animales de sangre caliente) y su presencia sólo será posible si se produce una nueva forma de contaminación fecal. La fuente de contaminación natural (animales

y aves) que puede afectar a los lagos ornamentales sería la misma que afectaría a un lago abastecido con agua de otro tipo, incluso de agua potable de abastecimiento público. La Figura 5.28 muestra los datos experimentales antes analizados, pero ordenados cronológicamente.

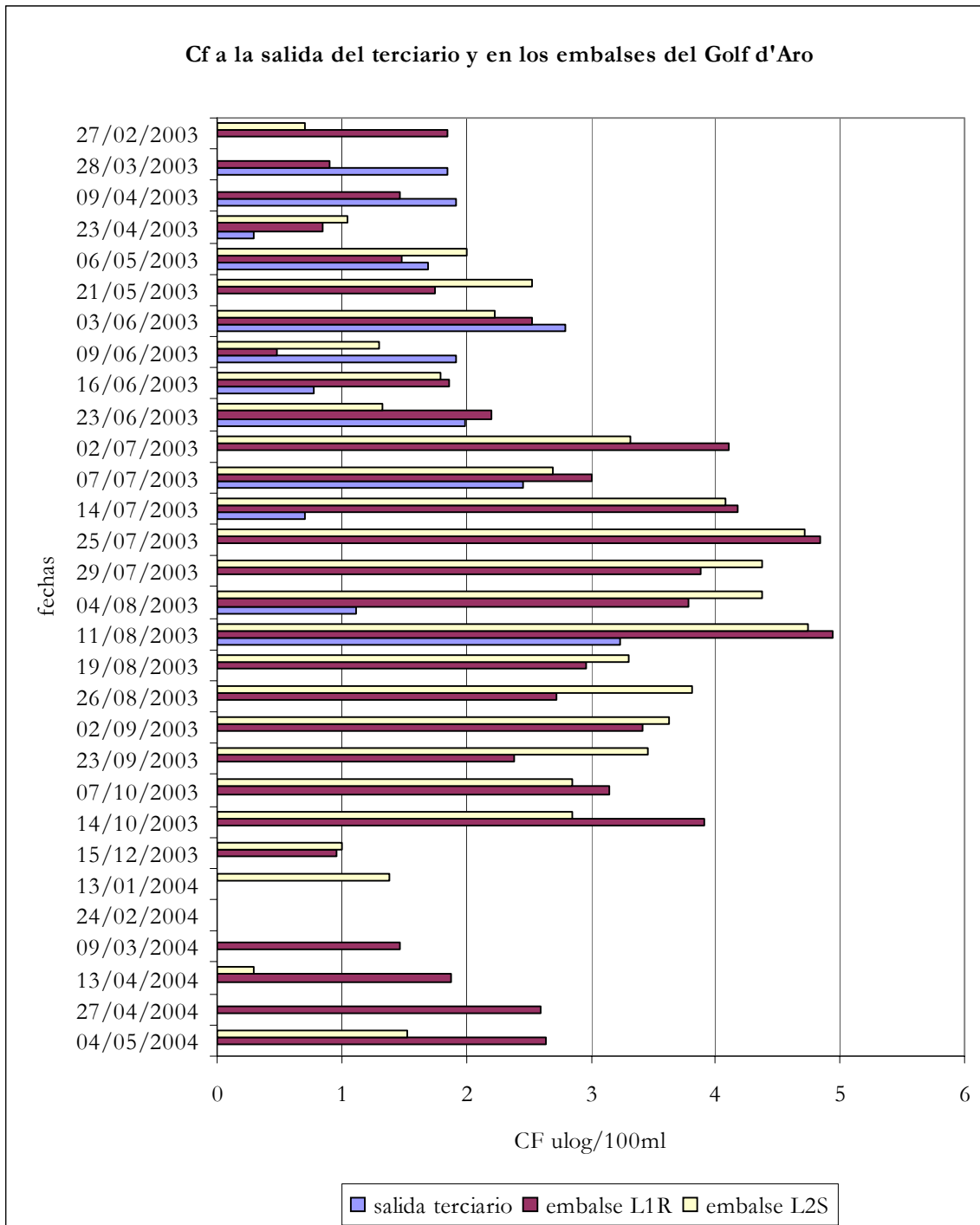


Figura 5.28. Evolución cronológica de la calidad del agua regenerada y del agua almacenada en los lagos ornamentales del golf d'Aro, mediante su contenido de coliformes fecales (CCB, 2004).

El volumen de agua almacenado en el pozo de bombeo del agua regenerada tiene un valor máximo de 320 m³. Durante periodos de consumo intermitente, el tiempo medio de permanencia del agua regenerada puede ser lo suficientemente grande como para que el cloro residual se anule y se creen condiciones propicias para la reaparición de microorganismos indicadores. La entrada

de partículas en suspensión en el aire, de insectos e incluso el crecimiento de algas pueden afectar a la turbiedad del agua. No obstante, los episodios de consumo intermitente o escaso se registran usualmente durante el invierno, cuando las necesidades de agua son menores. La menor temperatura del agua que se registra durante el invierno retrasa considerablemente la actividad biológica del agua. Además, durante el invierno, el agua regenerada permanece durante largos períodos de tiempo en los lagos ornamentales, lo que permite una acción más prolongada de la luz UV natural sobre los microorganismos.

Peligros de Otras Etapas

Las demás etapas del proceso de regeneración del agua no presentan un peligro lo suficientemente importante como para que deba ser tenido en cuenta. La Tabla 5.8 resume los diferentes peligros del proceso de regeneración y las etapas del tratamiento en las que se eliminan.

Tabla 5.8. Resumen de los peligros inherentes al proceso de regeneración del agua.

Fase o producto	Peligros biológicos	Controlado en	Peligros químicos	Controlado en
Agua residual cruda	Microorganismos patógenos	Tratamiento secundario + desinfección con luz UV y cloro	Productos tóxicos, metales pesados	Eliminación parcial en sedimentación y en tanque de aireación
Desinfección con luz UV	Una dosis de luz UV insuficiente permite la supervivencia de microorganismos patógenos	Los patógenos supervivientes se eliminarán con la desinfección con cloro.		
Desinfección con cloro	Un valor de la concentración de cloro x tiempo de contacto insuficiente permite la supervivencia de microorganismos patógenos		Formación de subproductos de desinfección.	Consumir grandes volúmenes de agua es un peligro. No hay riesgo porque las tasas de exposición y consumo son muy bajas.
Almacenamiento	Recontaminación con microorganismos patógenos		Contaminación con productos tóxicos (por escorrentía de fuertes precipitaciones por ejemplo)	

ANÁLISIS DE RIESGOS

Una vez identificados los peligros más importantes del proceso, conviene evaluarlos y clasificarlos. Para ello deben estimarse la probabilidad de cada uno de ellos y las consecuencias que pueden derivarse de los errores que pueden ocurrir durante el proceso. Una vez determinados estos valores, la Tabla 3.1 nos permitiría ponderar cada evento. Esta fase del estudio queda fuera del alcance del presente trabajo, en razón de la gran dificultad para realizarla. No obstante, puede estimarse que:

1. La tasa de exposición del agua regenerada al público es muy baja, dado que no se permite su utilización como agua potable y se adoptan medidas preventivas para asegurar que así sea.
2. La probabilidad de que se registre un evento grave es casi nula.

DETERMINACIÓN DE LOS PCC Y PA

El análisis del proceso de regeneración del agua ha permitido establecer 4 puntos críticos de control (PCC) y 3 puntos de atención (PA). Un PCC se define como una fase del proceso cuya presencia es esencial para prevenir o eliminar un peligro relacionado con la inocuidad del agua, o para reducirlo hasta un nivel aceptable, mediante la aplicación de unas ciertas medidas de control. El proceso de desinfección con luz UV es un PCC porque es una fase esencial para la inactivación de los microorganismos patógenos y pueden aplicarse unos ciertos controles (turbiedad y dosis de luz UV aplicada al agua) para conseguir un determinado grado de inactivación.

Un PA es una fase del proceso cuyo fallo puede afectar al funcionamiento correcto de un PCC posterior. El proceso fangos activados y la decantación secundaria son PA, porque un fallo en esta fase del proceso provocará un aumento de la turbiedad y la transmitancia del agua, lo que afectará al correcto funcionamiento del proceso de desinfección con luz UV y con cloro. La Figura 5.29 muestra el diagrama de flujo de la planta de regeneración de agua de Castell Platja d'Aro, en la que se indican los PCC y los PA identificados. Las características de estos PCC y PA se describen en los párrafos siguientes, de acuerdo con el orden de aparición en el diagrama de flujo. Se ha utilizado un árbol de decisión para cada fase o producto del proceso.

Una de las dificultades características de la aplicación del HACCP reside en la interdependencia que se puede registrarse entre las diferentes fases del proceso. Así por ejemplo, la filtración del agua tiene consecuencias sobre la desinfección con luz UV y con cloro. Los PA adoptados se han establecido precisamente para resolver esta dificultad.

Fase 1: Estaciones de bombeo

La ausencia de peligro en esta fase del proceso hace que no pueda ser considerada como un PCC. No obstante, la intrusión salina debe ser considerada como un evento capaz de aumentar el riesgo de mal funcionamiento de la planta y por tanto de provocar un aumento de la probabilidad de que se registren peligros en el agua regenerada. Los temporales marinos hacen que el bombeo situado en Platja d'Aro tenga un cierto riesgo de intrusión salina durante el invierno. El control de la conductividad eléctrica del agua permite evitar el bombeo de agua residual hacia la EDAR, cuando su contenido salino es elevado.

Fase 2: Entrada del agua residual bruta

Esta fase corresponde a la materia prima utilizada para todo el proceso "agua residual cruda". Los peligros identificados en esta fase son: 1) los microorganismos patógenos, 2) los productos tóxicos, y 3) los metales pesados. La aplicación del HACCP requiere plantearse las siguientes preguntas:

Pregunta 1: ¿Es posible que la materia prima contenga los peligros considerados unos niveles inaceptables?

Respuesta: SÍ. El agua residual que llega a la EDAR contiene diversos peligros, tanto biológicos como químicos, a niveles inaceptables.

Pregunta 2: ¿Tienen los procesos de regeneración y de reutilización capacidad para eliminar o reducir esos peligros hasta un nivel aceptable?

Peligros biológicos: SÍ. El proceso de regeneración ha sido proyectado para inactivar los microorganismos patógenos. La concentración de microorganismos patógenos a la salida de la planta es aceptable para el uso del agua regenerada en regadío de campos de golf, jardines y cultivos agrícolas.

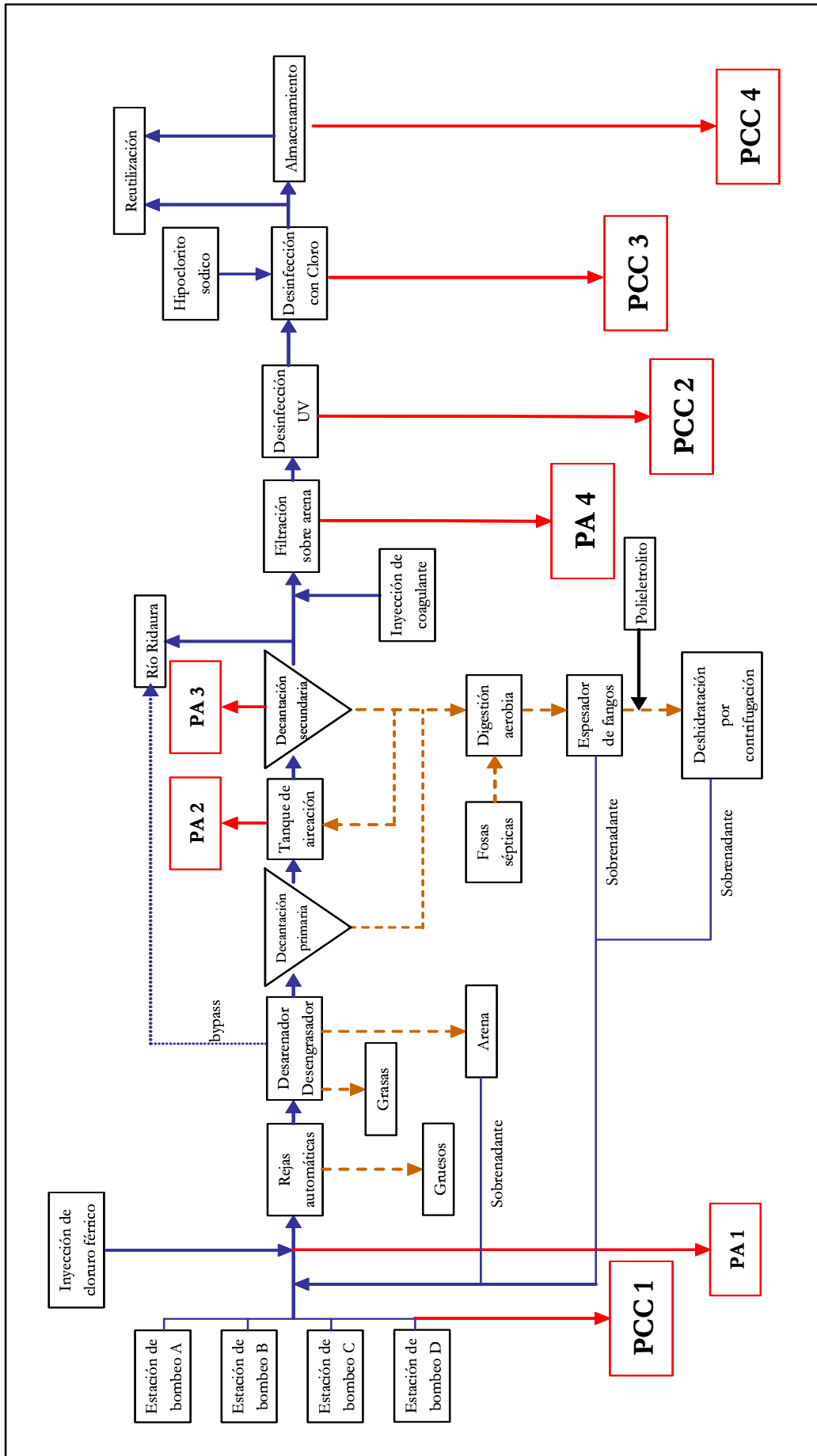


Figura 5.29. Diagrama de flujo de la planta de Castell d'Aro con los PCC y PA

Peligros químicos (productos tóxicos y metales pesados): NO. Los procesos de depuración convencional y de regeneración considerados en este caso no permiten la eliminación efectiva de productos tóxicos y de metales pesados. El control de las fuentes de contaminación, mediante la prohibición de vertidos industriales y de lixiviados de vertederos de residuos sólidos, han permitido mejorar la calidad del agua residual afluente. No obstante, la posible eventualidad de que se registre una contaminación excepcional del agua residual afluente hace imprescindible un proceso de vigilancia en continuo de su calidad.

El método de control adoptado para detectar la presencia de productos químicos tóxicos consiste en una inspección visual y olfativa realizada con una periodicidad horaria. La sospecha fundada de que el agua contenga alguna de estas sustancias hace que se interrumpa la entrada de agua a la EDAR. Los métodos de control en continuo para detectar la presencia de metales pesados tienen un coste muy elevado, lo que los hace difícilmente justificables cuando la red de saneamiento no incluye vertidos industriales significativos.

Por otra parte, la concentración puntual de metales pesados en un agua regenerada tiene un interés limitado, en cuanto suelen registrar valores muy pequeños, mientras que la mayor preocupación viene suscitada por su acumulación biológica a lo largo de una exposición prolongada. Por estas razones, el método HACCP no es la solución más adecuada para la gestión de los metales pesados durante la depuración y la regeneración del agua.

Como consecuencia de todo ello, la materia prima “agua residual bruta” constituye un PCC.

La intrusión salina no es un peligro sanitario en sí misma. El buen funcionamiento de la EDAR no se ve afectado por conductividades eléctricas de hasta 6.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. No obstante, un agua regenerada con una conductividad eléctrica superior a 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ plantea numerosas limitaciones para su utilización en riego agrícola y de jardinería. Conviene por tanto establecer dos límites de la conductividad eléctrica: uno primero de 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el proceso de regeneración, a fin de determinar la idoneidad del agua para riego agrícola y de jardinería, y otro superior, que podría situarse en torno a 6.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para determinar la idoneidad del agua para ser tratada en la EDAR sin que perturbe el cultivo biológico del proceso de fangos activados. La Tabla 5.9 resume las características de este primer PCC.

Fase 3: Adición de cloruro férrico

Esta fase del proceso no presenta un peligro específico, por lo que no merece ser considerada como un PCC, sino como un punto de atención PA1. La adición de cloruro férrico permite la eliminación de los malos olores, mediante la precipitación de sulfuro ferroso, pero ocasiona una disminución de la transmitancia del agua, provocando así una reducción del rendimiento del proceso de desinfección con luz UV. Un control óptimo de esta fase del tratamiento debe asegurar la total eliminación de los olores con la aplicación de una dosis mínima de cloruro férrico, de modo que el rendimiento del proceso de desinfección con luz UV se vea afectado mínimamente durante el verano. No obstante, cuando el rendimiento del proceso de desinfección con luz UV disminuye debido a una dosis de cloruro férrico elevada, siempre es posible aumentar la dosis de cloro aplicada en la siguiente fase de desinfección, de modo que la calidad del agua regenerada satisfaga los límites requeridos. La Tabla 5.10 resume las características del PA1.

Tabla 5.9. Características del PCC 1.

PCC 1: Agua residual afluyente a la EDAR.			
Peligros:			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Biológicos: microorganismos patógenos. 2. Químicos: productos orgánicos tóxicos y metales pesados. <p>El proceso de regeneración del agua tiene capacidad para eliminar la práctica totalidad de los peligros biológicos y una pequeña porción de la concentración de productos tóxicos.</p>			
Eventos que afectan a otras etapas:			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Intrusión salina. 2. Vertido de productos tóxicos no permitidos. <p>Estos dos eventos afectan al cultivo biológico de la EDAR. Si el proceso de depuración biológica no funciona correctamente, la concentración de materia en suspensión del efluente aumentará, haciendo que disminuya su transmitancia, lo que disminuirá el rendimiento de la desinfección con luz UV.</p>			
Medidas preventivas:			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Obras de protección para impedir la entrada de agua de mar por los imbornales. 2. Educación ciudadana para restringir el vertido de productos tóxicos en las redes de alcantarillado. Implantación de “puntos verdes” para la recogida selectiva de estos productos. 			
Control del proceso:			
Caudal de agua			
Control operativo:			
Parámetro	Valores blancos	Límites críticos	Método de control
Conductividad eléctrica		3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	
DBO/DQO		0,3	
Caudal		35.000 $\text{m}^3/\text{día}$	
Temperatura			
Olor			
Color			
Acciones correctoras			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Almacenamiento en un depósito para tratamiento adecuado o dilución. 2. Bypass de las instalaciones y vertido directo al río (alternativa a evitar). 			
Verificaciones			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Medición de la conductividad eléctrica. 2. Análisis visual. 3. Olor. 4. Control del índice DBO/DQO a la salida de la decantación primaria. 			

Tabla 5.10. Características del PA 1.

PA 1: Adición de cloruro férrico.			
Eventos que afectan a otras etapas:			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Disminución de la transmitancia a la luz UV. <p>El ión férrico absorbe luz UV. Si la dosis de cloruro férrico es elevada y la concentración de ión férrico residual es demasiado alta, la eficacia de la desinfección con luz UV puede verse afectada por una disminución de la transmitancia a la luz UV.</p>			
Medidas preventivas:			
Medida de dosificación de cloruro férrico.			
Control del proceso:			
Adición del cloruro férrico.			
Control operativo:			
Parámetro	Valores blancos	Límites críticos	Método de control
Cantidad de sulfuros (antes y después)			
Olor			
Acción correctora:			
Ajuste de la dosis de cloruro férrico.			
Verificaciones:			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Medición de la transmitancia del agua al inicio del proceso de desinfección con luz UV. 2. Olor. 			

Fase 4: Reactor biológico.

El proceso biológico de fangos activados tiene una gran fiabilidad, siempre y cuando el agua residual afluente no contenga concentraciones excesivas de productos tóxicos. Un fallo en esta fase del proceso de tratamiento tiene graves consecuencias sobre la calidad del agua regenerada, pues el efluente depurado tendrá una concentración elevada tanto de MES como de materia orgánica disuelta, lo que provocará una disminución apreciable de su transmitancia a la luz UV. Un efluente de estas características no puede ser desinfectado de forma fiable mediante la aplicación de luz UV y de cloro. Todo ello hace de esta fase del proceso sea un punto de atención importante, el PA2. La Tabla 5.11 resume las características del PA2.

Tabla 5.11. Características del PA 2.

PA 2: Reactor biológico.			
Eventos que afectan a otras etapas:			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Corte del suministro eléctrico. 2. Avería del sistema de aireación. 3. Disminución excesiva del tiempo medio de residencia hidráulica. 4. Inactivación del cultivo biológico. 			
Cualquier evento que impida la eliminación de la DBO contenida en el agua afluente tendrá incidencias sobre el proceso de desinfección con luz UV, pues la permanencia de la MO disuelta que no sea eliminada disminuirá la transmitancia del agua a la luz UV.			
Medidas preventivas:			
Oxigenación del líquido de mezcla.			
Control del proceso			
Caudal (tiempo de permanencia hidráulica).			
Oxigenación.			
Caudal de retorno de fangos (tiempo de permanencia celular).			
Estructura microscópica de los flóculos.			
Control operativo:			
Parámetro	Valores blancos	Límites críticos	Método de control
Concentración de OD.			Medida en continuo
Inspección visual.			del oxígeno disuelto.
Composición y estructura microscópica del fango.			Inspección microscópica.
Acciones correctoras			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Incremento del tiempo de permanencia hidráulico. 2. Modificaciones o compensaciones del sustrato limitante. 3. Adición de cloro en el flujo de retorno de fangos. 4. Puesta en marcha del grupo electrógeno. 5. Reparación/mantenimiento. 			
Verificación			
Decantabilidad del líquido de mezcla. Estructura microscópica del líquido de mezcla.			

Fase 5: Decantación secundaria

Esta fase no constituye un PCC en cuanto que no tiene potencial para generar peligros. La decantación secundaria es la última etapa de proceso biológico de depuración, y produce la materia prima para el proceso de regeneración. Su objetivo es separar por medios mecánicos (diferencia de densidad) los flóculos biológicos generados en el reactor biológico. Aunque el límite máximo aplicable reglamentariamente a la MES del efluente es de 35 mg/l, un efluente de buena calidad suele tener una MES inferior a 20 mg/l. Un fallo en esta fase del proceso hará que la MES del efluente sea excesiva para el funcionamiento normal de los procesos de regeneración y de desinfección posteriores. Todo ello hace de esta fase un PA adicional, el PA3. La Tabla 5.12 resume las características del PA3.

Tabla 5.12. Características del PA 3.

PA 3: Decantación secundaria			
Eventos que afectan a otras etapas			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Decantación inadecuada. 2. Desbordamiento del fango. <p>Una decantación inadecuada del líquido de mezcla provoca un aumento de la MES del efluente secundario, lo que afecta a los procesos de desinfección con luz UV y con cloro. La decantación inadecuada puede ser debida a un tiempo de permanencia demasiado pequeño o una decantabilidad insuficiente del líquido de mezcla debido a la presencia de bacterias filamentosas.</p>			
Medidas preventivas			
Oxigenación del líquido de mezcla.			
Control del proceso			
Caudal (tiempo de residencia hidráulica)			
Control operativo			
Parámetro	Valores blancos	Límites críticos	Método de control
Visual.			
Decantabilidad.			IVF
Composición y estructura microscópica del fango.			Inspección microscópica.
Acciones correctoras			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumento de la oxigenación del reactor biológico para inhibir el crecimiento de las bacterias filamentosas. 2. Adición de cloro en el retorno de fango para eliminar las bacterias filamentosas. 3. Disminución del caudal. 			
Verificación			
Decantabilidad del líquido de mezcla. Estructura microscópica de la MES efluente.			

Fase 6: Coagulación – Floculación - Filtración

Esta fase no constituye un PCC en cuanto que no tiene potencial para generar o eliminar peligros. El objetivo de esta fase es disminuir el contenido de MES del agua de modo que sea posible realizar una desinfección efectiva mediante luz UV y cloro. Los filtros disponibles son filtros rápidos de arena, de lecho pulsado. El principal riesgo de esta fase es que la coagulación-floculación no sea adecuada. No obstante, las observaciones experimentales han puesto de manifiesto que el efluente filtrado satisface generalmente las limitaciones del CEDEX, incluso cuando el proceso de filtración no funciona adecuadamente. Esta fase se considera un PA, el PA4, en cuanto que determina la eficacia de las dos fases posteriores de desinfección. La Tabla 5.13 resume las características del PA4.

Fase 7: Desinfección con luz UV.

Los peligros inherentes a esta fase del proceso de regeneración del agua son los microorganismos patógenos. El riesgo es la posibilidad de que estos microorganismos sobrevivan al proceso de desinfección. Las preguntas que caben plantearse en este caso son las siguientes:

Pregunta 1: ¿Existen medidas preventivas para el control de este proceso?

Respuesta: Sí, mediante el control de la dosis de luz UV aplicada al agua.

Pregunta 2: ¿Ha sido esta fase del tratamiento concebida específicamente para inactivar o reducir la presencia de estos microorganismos patógenos hasta un nivel aceptable?

Respuesta: Sí. Esta fase ha sido concebida para inactivar los microorganismos patógenos presentes en el agua, mediante la alteración de su ADN.

Como consecuencia de todo ello, la fase de desinfección con luz UV constituye un PCC, el PCC2. La tabla 5.14 resume las características del PCC2.

Tabla 5.13. Características del PA 4.

PA 4: Coagulación – floculación – filtración.			
Eventos que afectan otras etapas:			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Corte del suministro eléctrico. 2. Coagulante de características o calidad inadecuadas. 3. Agitación inadecuada en la cámara de mezcla inicial. 4. Deterioro del sistema de dosificación de coagulante. 5. Mal funcionamiento del sistema de limpieza del filtro. 			
Cualquier evento que impida la eliminación de la MES tendrá incidencia sobre la eficacia del proceso de desinfección con luz UV y con cloro.			
Medidas preventivas:			
Control del proceso			
Caudal.			
Dosis de coagulante.			
Limpieza de los filtros.			
Control operativo			
Parámetro	Valores blancos	Límites críticos	Método de control
Turbiedad	< 1NTU	2NTU	Turbidímetro
MES			
Acciones correctoras			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Mantenimiento. 2. Sustitución del coagulante. 3. Limpieza de los filtros 			
Verificación			
Turbiedad del agua filtrada.			

Tabla 5.14. Características del PCC 2.

PCC 2: Desinfección con luz UV.			
Peligros			
Una tasa de inactivación de los microorganismos patógenos inferior a la prevista.			
Medidas preventivas			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Disminución del contenido de MES. 2. Disminución del contenido de MO disuelta. 			
Control del proceso			
Caudal.			
Limpieza de las lámparas.			
Control operativo			
Parámetro	Valores blancos	Límites críticos	Método de control
Transmitancia	> 60%	50%	En continuo
Turbiedad	< 1 NTU	2 NTU	
Caudal			
Acciones correctoras			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumento de la dosis de cloro en la fase de desinfección siguiente. 2. Mantenimiento de los equipos. 3. Mejora del sistema de control y aumento del número de muestras de agua analizadas, hasta comprobar que la incidencia ha quedado resuelta. 			
Verificación			
Verificación del proceso de coagulación-floculación-filtración.			

Fase 8: Desinfección con cloro

Los peligros inherentes a esta fase del proceso de regeneración del agua son los microorganismos patógenos y los subproductos de la desinfección, generados por reacción de las especies cloradas (oxidantes) con las diversas formas de materia orgánica que puedan estar presentes en el agua.

Esta es la última de las fases del proceso de regeneración, cuyo objetivo fundamental es inactivar los microorganismos patógenos presentes en el agua. La desinfección con cloro es muy eficaz cuando el factor $C \times t$, resultante de multiplicar la concentración residual por el tiempo de contacto, alcanza o supera un valor mínimo. La desinfección con cloro tiene capacidad para inactivar la práctica totalidad de microorganismos indicadores y patógenos. Un fallo en esta fase del proceso puede tener sin duda consecuencias graves sobre la calidad sanitaria del agua regenerada.

Las preguntas que caben plantearse en este caso son las siguientes:

Pregunta 1: ¿Existen medidas preventivas para el control de este proceso?

Respuesta: Sí, mediante el control de la dosis de cloro aplicada al agua.

Pregunta 2: ¿Ha sido esta fase del tratamiento concebida específicamente para inactivar o reducir la presencia de estos microorganismos patógenos (peligro) hasta un nivel aceptable?

Respuesta: Sí. Esta fase ha sido concebida para inactivar los microorganismos patógenos presentes en el agua.

Como consecuencia de todo ello, la fase de desinfección con cloro es un PCC, el PCC3. La tabla 5.15 resume las características del PCC3.

Tabla 5.15. Características del PCC 3.

PCC 3: Desinfección con cloro.			
Peligros			
Una tasa de inactivación de los microorganismos patógenos inferior a la prevista.			
Una tasa de formación de subproductos de la desinfección superior a la requerida.			
Medidas preventivas			
1. Disminución del contenido de MES.			
2. Disminución del contenido de MO disuelta.			
3. Inactivación de microorganismos patógenos, mediante la fase previa de desinfección con luz UV.			
Control del proceso			
Dosis de cloro aplicada.			
Caudal.			
Control operativo			
Parámetro	Valores blancos	Límites críticos	Método de control
Cloro libre residual	> 0,2 mg/l	0,1 mg/l	Medida en continuo.
Cloro residual total	> 2,3 mg/l	2 mg/l	
Tiempo de contacto			
Acciones correctoras			
1. Ajuste de la dosis de cloro.			
2. Rechazo del efluente inadecuadamente desinfectado y vertido en otro lugar alternativo.			
Verificación			
3. Verificación del dosificador de cloro			
4. Verificación del analizador en continuo de cloro residual.			

Fase 9: Almacenamiento

La elaboración del HACCP podría acabar en esta etapa, siempre que la normativa requiera el cumplimiento de las normas de calidad en algún punto del proceso de regeneración y este punto sería evidentemente el PM5 (salida del terciario). Sin embargo, existe un riesgo de contaminación después de este punto. En estas condiciones, conviene ampliar el alcance del HACCP hasta el punto de utilización del agua, es decir hasta la etapa de almacenamiento.

El objetivo de esta fase del proceso de regeneración es almacenar el agua producida. Normalmente el agua regenerada que se vierte en los depósitos de almacenamiento es agua desinfectada. No obstante, la calidad sanitaria del agua regenerada contenida en los depósitos

puede ser alterada por aportaciones contaminadas. Esta contaminación puede estar causada por vertidos de agua regenerada insuficientemente desinfectada, por aportaciones de animales presentes en las inmediaciones del depósito, por el vertido accidental de productos tóxicos, o por la entrada de sustancias indeseables mediante la escorrentía superficial. Cuando el dispositivo de almacenamiento es un acuífero destinado en alguna de sus zonas al abastecimiento de agua prepotable, es necesario establecer un perímetro de protección que permita evitar cualquier tipo de contaminación accidental del acuífero. Se pueden adoptar medidas de protección similares para impedir la contaminación de un agua regenerada que se vaya a utilizar para riego agrícola y de jardinería, aunque en estos casos no es necesaria una protección frente a las fuentes de contaminación natural, como la debida a la presencia de fauna o a la escorrentía superficial. No obstante, también conviene adoptar las medidas protectoras necesarias para asegurar que el agua regenerada no se contamina por la incorporación de aguas de calidad inadecuada o por vertidos accidentales de productos tóxicos.

Las preguntas que caben plantearse en este caso son las siguientes:

Pregunta 1: ¿Existen medidas preventivas para el control de este proceso?

Respuesta: Sí. Los vertidos procedentes de la planta de regeneración están controlados en la etapa precedente.

Pregunta 2: ¿Ha sido esta fase concebida específicamente para eliminar un peligro o alcanzar un nivel aceptable de un posible peligro?

Respuesta: No.

Pregunta 3: ¿Podría producirse una contaminación capaz de provocar un peligro identificado con un nivel superior al aceptable, o podría este peligro aumentar hasta niveles inaceptables?

Respuesta: Sí, en el caso de que no se apliquen correctamente los PCC precedentes, o si no se controla la contaminación procedente de los animales presentes en los embalses, o si se produce un vertido contaminante accidental en los embalses.

Pregunta 4: ¿Se pueden eliminar los peligros identificados o reducir su posible presencia hasta un nivel aceptable en una fase posterior?

Respuesta: No.

Como consecuencia de todo ello, la fase de almacenamiento es un PCC, el PCC4. La tabla 5.16 resume las características del PCC4.

Tabla 5.16. Características del PCC 4.

PCC 4: Almacenamiento del agua regenerada.			
Peligros			
Recontaminación biológica o química.			
Medidas preventivas			
1. Alimentación de los tanques solamente con agua no contaminada.			
2. Vigilar los alrededores de los depósitos para evitar posibles vertidos contaminantes.			
Control del proceso			
Tiempo de residencia			
Control operacional			
Parámetro	Valores blancos	Límites críticos	Método de control
Cloro residual			
Analíticas de CF			
Acciones correctoras			
1. Utilización del agua con restricciones especiales.			
2. Desinfección de la maza de agua almacenada (adición de cloro o vaciado del depósito).			
Verificación			
1. Verificación de los PCC anteriores.			
2. Verificación de los alrededores de los embalses.			

PROPUESTA ALTERNATIVA

Una propuesta alternativa para la aplicación del método HACCP a la regeneración del agua es la inspirada en el procedimiento elaborada por Dewettinck (2001). Este método consiste en considerar separadamente el tratamiento de depuración del agua residual y el tratamiento de regeneración del agua depurada. El único PCC identificado en la fase del tratamiento de depuración es la calidad del agua residual depurada. En la planta de Castell Platja d'Aro, este PCC pasaría a ser la entrada del efluente secundario al proceso de regeneración, donde deberían cumplirse unos criterios específicos, relativos a la concentración de MES, DQO y otros parámetros. Los demás PCC se mantendrían inalterados. La Tabla 5.17 resume los PCC y los PA correspondientes a esta propuesta alternativa del método HACCP para la planta de regeneración de agua de Castell Platja d'Aro.

Tabla 5.17. Plan HACCP simplificado para planta de regeneración de agua de Castell Platja d'Aro.

Punto de control	Fase del tratamiento
PCC 1	Entrada del afluente secundario
PA 1	Coagulación – filtración
PCC 2	Desinfección con UV
PCC 3	Cloración
PCC 4	Almacenamiento

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El método HACCP

1. El método HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) ofrece un enfoque sistemático con el que analizar los riesgos sanitarios del proceso de tratamiento del agua y para establecer los Puntos Críticos de Control (PCC). La experiencia disponible indica que:
 - a) El método HACCP ha alcanzado una gran aceptación en los procesos de producción de agua potable, donde se aplica con normalidad.
 - b) El método HACCP puede aplicarse igualmente a los procesos de depuración y de regeneración de aguas residuales, aunque el producto final no sea un alimento.
2. La aplicación del método HACCP requiere disponer de unos conocimientos y de una experiencia considerables sobre los riesgos inherentes al uso y el tratamiento del agua. El HACCP constituye básicamente un modo de trabajo lógico y sistemático, pero no tiene capacidad para compensar la falta de conocimientos que se pueda tener sobre el proceso concreto al que se aplica, como puede ser la regeneración del agua. Esa falta de conocimientos puede hacer que los resultados obtenidos con el método HACCP sean incompletos o falsos. Para limitar el alcance de estos posibles errores, es imprescindible disponer de una guía completa y regularmente actualizada con las listas de peligros, de riesgos y de PCC aplicables a los procesos de regeneración del agua.
3. Las principales dificultades que suelen encontrarse durante la aplicación del método HACCP a la depuración y la regeneración del agua son:
 - a) La interdependencia existente entre las diferentes fases del proceso de depuración. Un fallo en una de las fases puede propiciar otro fallo en una fase posterior.
 - b) La notable variación temporal de las características del agua afluente, que pueden oscilar considerablemente tanto en calidad como en caudal, en el curso de cortos períodos de tiempo.
4. Una aplicación correcta del método HACCP a la regeneración del agua permite minimizar los posibles riesgos sanitarios, aunque no puede eliminarlos por completo. Por este motivo, la reutilización planificada del agua regenerada requiere un sistema de control, adicional a los aplicables al propio proceso de regeneración, que minimice los posibles riesgos que no pueden ser controlados por el método HACCP.
5. El método HACCP puede aplicarse, en principio, a cualquier proceso de tratamiento del agua. No obstante, el plan de trabajo del HACCP puede revestir un grado de complejidad muy diferente, dependiendo del proceso de tratamiento considerado y de las características del agua afluente a tratar. Un proceso complejo y con numerosas fases sucesivas, como es un proceso convencional de regeneración de agua, tendrá unos riesgos de fallo mucho mayores que los de un proceso de regeneración más sencillo, como es un sistema de

lagunaje. Por este motivo, el plan de trabajo del método HACCP aplicable al primer tipo de procesos tendrá una complejidad mayor que el del segundo.

6. En las plantas de depuración y de regeneración de agua, el método HACCP solamente se puede aplicar al proceso de regeneración del efluente depurado. La imposibilidad práctica de aplicar el método HACCP a una planta de depuración y de regeneración de agua residual doméstica es una consecuencia clara de que no se ha alcanzado todavía un control adecuado de los diversos riesgos inherentes del proceso. En esas condiciones, los procesos de depuración no alcanzan probablemente la eficiencia requerida y habrán de mejorarse.
7. Las fases destinadas a la desinfección del agua tratada son los principales PCC de un proceso de regeneración de agua y de cualquier proceso de tratamiento terciario. El control en continuo de los sistemas de desinfección es un requisito imprescindible de esta fase del tratamiento, al igual que el programa de medidas correctoras necesarias para remediar los fallos que se puedan registrar en esos sistemas.
8. El proceso de desinfección con luz UV requiere un control continuo de la intensidad de luz UV aplicada al agua. No obstante, cuando el valor experimental queda fuera del intervalo de valores requeridos, el control exclusivo de este parámetro no permite determinar el origen del fallo, que puede deberse a una transmitancia del agua insuficiente o a una avería de las lámparas. Para remediar este problema, es necesario aplicar además un control continuo de la transmitancia del agua en un punto aguas arriba, de modo que sea posible conocer rápida y exactamente el origen del fallo y consecuentemente determinar la medida correctora concreta que debe aplicarse.
9. El proceso de desinfección con cloro, como proceso individual o complementario a la desinfección con luz UV, requiere un análisis continuo de la dosis de cloro o del cloro residual total. La dosis efectiva de cloro habrá de establecerse en función de diversos parámetros de calidad del agua, como son el contenido de materia orgánica reactiva y sus derivados, así como de la eficiencia alcanzada en el proceso de desinfección con luz UV.
10. Las fluctuaciones que normalmente experimentan los diversos parámetros de calidad de un agua influyen de forma significativa sobre la eficacia y el estado de control de los procesos de desinfección con luz UV y con cloro. Conviene por tanto que esos cambios puedan ser detectados con anticipación e incorporados en la gestión de los procesos de desinfección, antes de que su eficacia se vea afectada significativamente o su funcionamiento quede fuera de control.
11. La valoración económica de la aplicación del método HACCP a la regeneración del agua queda fuera del alcance de los trabajos de esta tesina. No obstante, cabe anticipar que la implantación del método HACCP representará una inversión importante cuando se aplique en instalaciones antiguas, pues requerirá la incorporación de equipos adicionales tales como autómatas, medidores en continuo y generadores de emergencia, así como modificaciones importantes de las instalaciones. En este caso, los beneficios económicos de la aplicación del método HACCP son complejos y difíciles de evaluar.
12. La aplicación del método HACCP a la reutilización planificada del agua requiere un análisis de riesgos basado en una estimación de la tasa de exposición del público a los diferentes peligros. La exposición del público al agua regenerada es difícil de establecer, ya que sus vías de acceso son mucho más difíciles de identificar y de valorar que en el caso de las aguas potables de consumo público. La exposición del público al agua regenerada será muy diferente dependiendo del uso al que ésta se destine; la exposición puede ser por contacto

directo, cuando el agua regenerada se utiliza para regar jardines o cultivos hortícolas, o bien puede ser por contacto indirecto cuando el agua se utiliza para regar cultivos a través de los cuales determinados contaminantes, como los metales pesados, pueden penetrar en la cadena alimentaria. Sería deseable que los límites fijados por la Agència Catalana de l'Aigua (véase el Anejo 2) o por el CEDEX (véase el Anejo 3) incluyeran progresivamente los resultados disponibles de estos análisis de riesgos.

13. La eficacia del método HACCP guarda una estrecha relación con el desarrollo de los métodos de control en continuo de los diversos parámetros de calidad de un agua. Conviene seguir con atención las innovaciones en este campo, porque pueden introducir importantes simplificaciones y mejoras. La implantación de un equipo capaz de determinar en continuo la calidad microbiológica de un agua tendría unas consecuencias muy significativas sobre el control de los riesgos sanitarios de un agua.

Planta de Regeneración de Castell Platja d'Aro:

1. Peligros biológicos:

El método HACCP puede aplicarse al proceso de regeneración de agua de la EDAR de Castell Platja d'Aro, adoptando ciertas modificaciones. Aunque es imprescindible establecer todos los puntos de atención (PA) y los PCC identificados, como forma de asegurar la eliminación de los peligros de este proceso, conviene resaltar que la fase de desinfección con cloro es sin duda la más importante, pues es en ella donde se eliminan la mayor parte de los peligros y es la forma última de desinfección disponible en esta planta. Un fallo en esta etapa aumenta considerablemente la presencia de peligros microbiológicos en el agua regenerada y puede contaminar los lagos de almacenamiento de agua del campo de golf. El riesgo más notable del proceso de desinfección es la supervivencia de los peligros microbiológicos. Los datos históricos indican que la vigilancia de este PCC puede asegurarse mediante un análisis en continuo del cloro total residual. No obstante, convendrá verificar experimentalmente esta conclusión. Las medidas correctoras aplicables en este PCC son un ajuste de la dosis de cloro y la desviación del agua de calidad insatisfactoria hacia otro punto de vertido. El control de esta etapa se puede mejorar también mediante un análisis en continuo, en un punto aguas arriba, del contenido de materia reactiva con el cloro, en cuanto que ésta determina en parte la dosis de cloro necesaria.

2. Peligros químicos:

Los peligros químicos del agua regenerada no plantean una preocupación particular o significativa para los usos previstos del agua en riego agrícola y de jardinería. El hecho de que la fuente de suministro sea un efluente doméstico depurado hace que la carga de contaminantes químicos y los riesgos asociados con ellos sean generalmente limitados para los usos previstos del agua regenerada. Estos bajos niveles de riesgo químico hacen innecesario plantearse un sistema particular de control. No obstante, convendría documentar la evolución histórica de las concentraciones de ciertos microcontaminantes del agua tratada, en razón del impacto que pueden tener a largo plazo, tales como los metales pesados, ciertos hidrocarburos y los contaminantes emergentes. A esta lista se podrían añadir también otros parámetros que no tienen impacto sobre la salud humana, pero que pueden afectar al desarrollo de las plantas. La conductividad eléctrica del agua ilustra bien esta preocupación: aunque el uso de un agua con conductividad eléctrica elevada no comporta riesgos para las personas, sí que es un peligro para las plantas. También sería interesante realizar un estudio comparativo entre aguas de riego

procedentes de diversas fuentes, para determinar si el agua regenerada comporta peligros adicionales.

3. Los riesgos sanitarios durante el invierno son menos importantes que durante el verano, por diferentes razones:
 - a) La reutilización de aguas es menor, pues el riego agrícola y de jardinería (campos de golf y jardines) es poco frecuente, lo que hace que la exposición directa del público al agua sea menor que durante el verano.
 - b) El efluente secundario tiene una mejor calidad, especialmente en términos de materia en suspensión, debido al mayor tiempo de residencia hidráulica (menor caudal) del agua depurada en los decantadores. Esto hace que los procesos de desinfección con luz UV y con cloro sean mucho más eficientes.
 - c) La concentración de coliformes fecales en el efluente secundario es menor durante el invierno.

Recomendaciones

1. Las muestras de agua utilizadas para el control analítico deberían recogerse siguiendo un protocolo bien especificado y aplicado de forma sistemática. Las muestras de agua a la entrada de la planta suelen ser muestras compuestas de 24 horas, lo que asegura el carácter sistemático de los muestreos. En cambio, las muestras obtenidas en otros puntos del proceso de depuración y del tratamiento terciario en particular son de carácter puntual o instantáneo. En este caso, sólo la aplicación de un plan de recogida sistemática de datos y de muestras permitirá realizar una valoración correcta del funcionamiento de los procesos. En particular, la evaluación de la concentración de cloro residual y de cloro total puede introducir errores aleatorios, debido a los cambios bruscos o progresivos que se suelen producir durante el proceso de cloración, dependiendo de que el agua discurra por un reactor de flujo en pistón (laberinto) o un reactor de mezcla completa.
2. El agua regenerada alcanza su mejor calidad sanitaria durante el invierno, que es cuando generalmente menos consumo de agua regenerada se registra. Convendría identificar nuevos usuarios para la temporada invernal o promover el almacenamiento del agua regenerada para poder utilizarla en el período estival, cuando la demanda de agua es mayor. Un beneficio indirecto de esta utilización continuada durante todo el año sería la amortización más efectiva de las instalaciones de regeneración de agua, a la vez que la generación de unos recursos hídricos alternativos y de gran importancia en zonas con escasez de recursos como la Costa Brava.
3. El sistema de control de los riesgos sanitarios de una planta de regeneración de agua similar a la de Castell Platja d'Aro, debería incluir como mínimo los siguientes controles:
 - a) Un control de la calidad del efluente secundario, en el que se incluyan la determinación de MES, turbiedad, MO disuelta y conductividad.
 - b) Un control de la etapa de eliminación de la MES (filtración en el caso de la planta de Castell Platja d'Aro), en el que se incluyan la determinación de MES y turbiedad.
 - c) Un control de la etapa de desinfección con luz UV, en el que se incluya la determinación de la dosis de luz UV aplicada.
 - d) Un control de la desinfección química, en el que se incluyan la determinación de cloro residual, cloro total y tiempo de permanencia.
 - e) Un control del proceso de transporte y del almacenamiento del agua, en el que se incluya el tiempo medio de estancia hidráulica, tanto en el conducto como en los lagos.

Capítulo 7

REFERENCIAS

- ACA (2003) ; *Criteris de qualitat de l'aigua regenerada segons diferents usos*. Agència Catalana de l'Aigua. Disponible en <http://www.gencat.net>.
- Casani S., Knöchel S. (2002) ; *Application of HACCP to water reuse in the food industry*. Food Control 13 (2002) pp315-327
- CEDEX (07/2002) ; *propuesta de calidades mínimas exigidas para la reutilización directa de efluentes depurados según los distintos usos posibles, así como de aspectos relativos a la metodología, frecuencia de muestreo y criterios de cumplimiento de los análisis establecidos, para incluir en una normativa de carácter estatal*. Versión del 01/01/2002.
- Codex Alimentarius Commission (CAC) (1997) ; *Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (HACCP) y directrices para su aplicación*. Anexo al CAC/RCP-1 (1969), Rev. 3 (1997).
- Dewettinck T., Van Houtte E., Geenens D., Van Hege K. and Vertstraete W. (2001) *HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) to guarantee safe water reuse and drinking water production – a case study*. Water Sciences and Technology Vol 43 No 12 pp 31-38 (2001)
- FAO. *Systèmes de qualité et de sécurité sanitaire des aliments – Manuel de formation*.
- Grimault, L. (2000/09) ; *Étude de faisabilité : application de la démarche HACCP au compostage des boues de stations d'épuration*. École nationale de la santé publique. (E.N.S.P.) Rennes, Francia ; 70p. Mémoire ENSP d'ingénieur sanitaire.
- Havelaar A. H. (1994) ; *Application of HACCP to drinking water supply*. Food Control, 1994, Vol 5, N° 3, p145-152.
- NHMRC (2002) *Australian Drinking Water Guidelines, Draft. Appendix: Additional guidance on elements 2 and 3 of the Framework for management of drinking water quality*. National Health and Medical Research Council, Australia.
- Planells Hrenández M. (2004), *Base de dades per a projectes de reutilizació d'aigües residuals*. Tesina d'especialitat, ETSECCPB – UPC, Barcelona.
- Savy, O. (1999/09) ; *Application de la méthode HACCP aux processus la production / distribution d'eau potable. Contribution à l'élaboration d'un guide pratique*. École nationale de la santé publique. (E.N.S.P.) Rennes, Francia ; 62p. Mémoire ENSP d'ingénieur sanitaire.
- SVGW (julio 2003) ; *Recommendations for a simple quality assurance system for water supplies (WQS)*. Schweizerischer Verein des Gas und Wasserfaches, Zurich, Suiza.
- Vicen Vila, F.J. (2002), *Inactivación bacteriana y vírica en el tratamiento terciario de Castell-Platja d'Aro*, Tesina d'especialitat, ETSECCPB – UPC, Barcelona.

WHO (1999) *Guidelines for drinking-water quality*. Capítulo 12 *Management Strategies*. World Health Organization; Ginebra, Suiza.

ANEJO 1

Léxico

Definiciones del Codex Alimentarius

Análisis de incertidumbre: Un método usado para estimar la incertidumbre asociada con las entradas, las hipótesis y la estructura o forma del modelo.

Análisis de riesgos: un proceso de evaluación integrado por tres componentes: evaluación de riesgos, gestión del riesgo y comunicación del riesgo.

Caracterización del peligro: la evaluación cuantitativa o cualitativa de la naturaleza de los efectos nocivos que el peligro en cuestión puede tener para la salud. Los elementos utilizados para evaluar los riesgos microbiológicos son normalmente los microorganismos y/o sus toxinas.

Caracterización del riesgo: el proceso para obtener una estimación cualitativa y/o cuantitativa, incluyendo las incertidumbres que ello conlleva, de la probabilidad de aparición y la gravedad de los efectos adversos conocidos o potenciales para la salud de una población determinada, a partir de la identificación del peligro, la caracterización del mismo y la evaluación de la exposición.

Comunicación del riesgo: intercambio interactivo de información y de opiniones sobre un riesgo determinado entre los evaluadores del riesgo, los encargados de la gestión del mismo, los consumidores, y otros interesados.

Controlado: condición alcanzada cuando se cumplen los procedimientos y los criterios establecidos.

Controlar: adoptar todas las medidas necesarias para asegurar y mantener el cumplimiento de los criterios establecidos en el plan del método HACCP.

Desviación: situación creada cuando se incumple un límite crítico.

Diagrama de flujo: representación esquemática detallada de la secuencia de fases u operaciones realizadas para producir o elaborar un determinado producto alimenticio.

Estimación del riesgo: la información resultante del proceso de caracterización del riesgo.

Evaluación cualitativa del riesgo: una evaluación de riesgos basada en datos que, a pesar de no constituir una base suficiente para el cálculo numérico del riesgo, permiten, mediante un conocimiento previo de expertos y una identificación de las incertidumbres que conllevan, establecer una clasificación de los riesgos según su gravedad o separarlos en categorías descriptivas.

Evaluación cuantitativa del riesgo: una evaluación del riesgo que ofrece expresiones numéricas del mismo, así como una indicación de la incertidumbre que conlleva (expuesta en la definición de análisis de riesgos formulada por la Consulta de Expertos de 1995).

Evaluación de la exposición: evaluación cualitativa y/o cuantitativa de la ingestión probable de agentes biológicos, químicos y físicos mediante los alimentos, así como de la exposición ocasionada por otras fuentes, cuando proceda.

Evaluación de la relación dosis-reacción: determinación de la relación existente entre la magnitud de la exposición (dosis) a un agente químico, biológico o físico y la gravedad y/o frecuencia de los efectos adversos para la salud (reacción) que dicho agente produce.

Evaluación de riesgos: un proceso científico que consta de las siguientes fases: i) identificación del peligro, ii) caracterización del peligro, iii) evaluación de la exposición, y iv) caracterización del riesgo.

Fase: cualquier punto, procedimiento, operación o etapa de la cadena alimentaria, incluidas las materias primas, incluido desde la producción primaria hasta el consumo final.

Gestión del riesgo: el proceso para ponderar las distintas estrategias que pueden adoptarse a la luz de los resultados de la evaluación del riesgo y, si procede, para elegir y aplicar las opciones de control apropiadas, incluidas las medidas reglamentarias.

Identificación del peligro: la identificación de los agentes biológicos, químicos y físicos capaces de causar efectos adversos para la salud y que pueden estar presentes en un alimento o grupo de alimentos en particular.

Límite crítico: criterio que diferencia la aceptabilidad o inaceptabilidad del resultado de una determinada fase del proceso.

Medida correctiva: acción que debe aplicarse cuando los resultados del programa de vigilancia en un PCC indica que se perdió el control del proceso.

Medida de control: cualquier medida o actividad destinada a prevenir o eliminar un peligro en relación con la inocuidad de los alimentos, o para reducirlo a un nivel aceptable.

Peligro: agente biológico, químico o físico presente en un alimento, o condición de dicho alimento, que puede ocasionar un efecto nocivo para la salud.

Plan de HACCP: documento preparado de conformidad con los principios del método HACCP, de modo que su cumplimiento asegura el control de los peligros considerados como significativos para la inocuidad de los alimentos, en el segmento de la cadena alimentaria considerado.

Punto crítico de control (PCC): fase en la que puede aplicarse un control, considerado esencial para prevenir o eliminar un peligro relativo a la inocuidad de los alimentos, o para reducirlo a un nivel aceptable.

Riesgo: una función que permita estimar la probabilidad de que se produzca un efecto adverso para la salud, así como la gravedad de este efecto, asociado a uno o más peligros presentes en los alimentos.

Método HACCP: método que permite identificar, evaluar y controlar los peligros significativos que pueden afectar la inocuidad de los alimentos.

Validación: comprobación de que los elementos del plan de HACCP son efectivos.

Verificación: aplicación de métodos, procedimientos, ensayos y otras evaluaciones, además de la vigilancia, para comprobar el cumplimiento del plan de HACCP.

Vigilar: realizar una secuencia planificada de observaciones o de mediciones de los parámetros de control con objeto de evaluar si un PCC está bajo control.

ANEJO 2

Criterios de reutilización de las aguas en Cataluña (ACA)

CRITERIS DE QUALITAT DE L'AIGUA REGENERADA SEGONS DIFERENTS USOS

La regulació de la reutilització de les aigües s'inclou en l'article 47 del Pla hidrològic de les conques internes de Catalunya i en les determinacions del Pla de sanejament de Catalunya, incorporades en el PHCIC, relatives a la necessitat de fomentar les actuacions destinades a la recuperació i posterior reutilització de les aigües residuals.

És en aquest context normaliu que des de l'Àrea de Planificació s'han redactat els criteris de qualitat de l'aigua regenerada segons diferents usos. Aquests criteris han inclòs les aportacions inicials de les Àrees d'Inspecció i Control i d'Ordenació del Domini Públic Hidràulic, la participació de professionals del món de la regeneració d'aigües, i les observacions de l'informe emès per la Direcció General de Salut Pública del Departament de Sanitat i Seguretat Social en data 22 de maig del 2003.

Hom classifica cinc tipus d'aigua segons la qualitat. Cada categoria o tipus d'aigua es defineix per uns paràmetres de qualitat bàsics, tot i fixant diferents requeriments de qualitat i condicionants per a cada ús dins la mateixa categoria d'aigua. Alhora, s'hi indiquen uns tractaments orientatius.

Els tipus d'aigua regenerada segons la qualitat recollits en el quadre annex i els seus usos associats són:

A Recàrrega d'aqüífers per injecció: quan hom injecta aigua directament a l'aqüífer a través de pous de recàrrega.

Recàrrega d'aqüífers per percolació: quan la recàrrega es realitza filtrant l'aigua a través del terreny.

B Usos / serveis urbans: reg de zones verdes, reg de camps de golf, neteja de carrers.

Cultius d'hivernacle: ús agrícola en hivernacles i cultius intensius.

Cultius de consum en cru / altres cultius per aspersió: reg de cultius que es consumeixen en cru i d'altres cultius regats per aspersió.

Masses d'aigua d'accés públic (no bany): masses d'aigua on l'accés públic no és restringit, però on està prohibit el bany (equiparables a l'estany de la Ciutadella, el llac de Puigcerdà, etc...)

C Pastures d'animals llet/carn: reg de Prats i pastures d'animals productors de llet o de carn.

Cultius de conserva / consum no cru / fruiters no aspersió: reg de cultius que són processats abans del consum (llegums, verdures) i fruiters no regats per aspersió.

Aqüicultura: ús de l'aigua en aqüicultura, excepte en mol·luscs filtradors.

Masses d'aigua d'accés no públic: masses d'aigua on l'accés del públic es restringit (basses i dipòsits antiincendis).

D Cultius industrials / farratges ensitjats / cereals / oleaginoses: reg de cultius industrials (cànem, cotó), de farratges ensitjats (blat de moro), de cereals (blat, ordi) i de plantes oleaginoses (soja, gira-sol).

Refrigeració indústria no alimentària: aigua de refrigeració industrial, tret de les indústries alimentàries.

E Boscs / zones verdes no públic: reg de boscs i zones verdes on l'accés públic és restringit (mitjanes autopistes).

En color vermell hi ha, d'una banda, les notes, i de l'altra, les taules annexades. A les condicions generals es remarca el caràcter obert dels diferents límits, en el sentit que depenent de les condicions específiques de cada cas particular, són susceptibles de modificar-se.

CRITERIS DE QUALITAT DE L'AIGUA REGENERADA SEGONS DIFERENTS USOS

TIPUS AIGUA	LÍMITS	USOS	NUTRIENTS	ALTRES PARÀMETRES	CONDICIONANTS	TRACTAMENT ORIENTATIU
A		<p>RECÀRREGA Aqüífers INJECCIÓ</p> <p>N-Total < 5 mg/L P-Total < 1 - 2 mg/L</p> <p>RECÀRREGA Aqüífers PERCOLACIÓ</p> <p>N-Total < 10 mg/L P-Total < 1 - 2 mg/L</p>		<p>Taula 1 annexa</p> <p>Taula 1 annexa</p>	<p>Es respectarà una zona de protecció de 60 dies de temps de trànsit entre el punt d'injecció i pous d'abastament</p> <p>Es respectarà una zona de protecció de 50 dies de temps de trànsit entre el punt d'aplicació i pous d'abastament</p> <p>Lit filtrant de 1,5 m de gruix mínim</p>	<p>Reducció nutrients + Òsmosi inversa</p> <p>Reducció nutrients + Terciari + Desinfecció amb UV i Cl2 o tractament equivalent (3)</p> <p>Reducció nutrients + Terciari + Desinfecció amb UV i Cl2 o tractament equivalent</p>
B	<p>Nemàtodes < 1 ou/l Escherichia coli < 200 ufc/100 ml Sòlids Suspensió < 20 mg/l Terbolesa < 5 NTU</p>	<p>USOS/SERVEIS URBANS Zones verdes, camps golf, neteja carrers</p> <p>CULTIUS D'HIVERNACLE</p> <p>CULTIUS CONSUM CRU/ D'ALTRES CULTIUS PER ASPERSIÓ</p> <p>MASSES H2O PÚBLIC (no bany) Masses d'aigua ús recreatiu amb contacte públic-aigua</p>	<p>pH 6 < pH < 9 CE < 3.000 µS/cm (4)</p> <p>RD 849/1986 Reglament del Domini Públic Hidràulic Taula 3 Taula 2 annexa</p> <p>B<1-2 mg/L Cd<0,01 mg/L Mo<0,05 mg/L Se<0,02 mg/L</p> <p>Legionella pneumophila Absència CE < 3.000 µS/cm (4)</p> <p>B<1-2 mg/L Cd<0,01 mg/L Mo<0,05 mg/L Se<0,02 mg/L</p> <p>CE < 3.000 µS/cm (4)</p> <p>B<1-2 mg/L Cd<0,01 mg/L Mo<0,05 mg/L Se<0,02 mg/L</p>	<p>pH 6 < pH < 9 CE < 3.000 µS/cm (4)</p> <p>RD 849/1986 Reglament del Domini Públic Hidràulic Taula 3 Taula 2 annexa</p> <p>B<1-2 mg/L Cd<0,01 mg/L Mo<0,05 mg/L Se<0,02 mg/L</p> <p>Legionella pneumophila Absència CE < 3.000 µS/cm (4)</p> <p>B<1-2 mg/L Cd<0,01 mg/L Mo<0,05 mg/L Se<0,02 mg/L</p> <p>CE < 3.000 µS/cm (4)</p> <p>B<1-2 mg/L Cd<0,01 mg/L Mo<0,05 mg/L Se<0,02 mg/L</p>	<p>Es respectarà una zona de protecció de 30 m de radi al voltant de pous d'abastament</p> <p>Reg per aspersió en hores de no aflluència de públic</p> <p>Pendent màx. del 15% (5)</p> <p>En cas de reg superficial es respectarà una zona de protecció de 30 m de radi al voltant de pous d'abastament</p> <p>Si els fangs de l'EDAR superen els límits de metalls del RD 1310/1990, les concentracions màximes en l'aigua no superaran la Taula 3 annexa</p> <p>Reg per aspersió en hores de no aflluència de públic</p> <p>Pendent màx. del 15% (5)</p> <p>Es respectarà una zona de protecció de 30 m de radi al voltant de pous d'abastament</p> <p>No creació d'aerosols (fonts, brolladors, etc)</p> <p>Mecanismes de desodorització</p>	<p>Terciari+Desinfecció amb UV i Cl2 o tractament equivalent</p>

CRITERIS DE QUALITAT DE L'AIGUA REGENERADA SEGONS DIFERENTS USOS	LÍMITS	USOS	NUTRIENTS	ALTRES PARÀMETRES	CONDICIONANTS	TRACTAMENT ORIENTATIU
C	<p>Nemàtodes < 1 ou/l Escherichia coli < 1.000 ufc/100 ml Sòlids Suspensió < 35 mg/l</p>	<p>PASTURES ANIMALS LLET/CARN</p> <p>CULTIUS CONSERVA/CONSUM NO CRU/FRUITERS NO ASPERSIÓ</p> <p>AQÜICULTURA No moluscs filtradors</p> <p>MASSES H2O NO PÚBLIC Masses d'aigua sense contacte públic-aigua/basses i dipòsits antiincendis</p>	<p>T. saginata i T. Solium < 1 ou/L CE < 3.000 µS/cm (4)</p> <p>B<1-2 mg/L Cd<0,01 mg/L Mo<0,05 mg/L Se<0,02 mg/L</p>	<p>En cas de reg superficial es respectarà una zona de protecció de 30 m de radi al voltant de pous d'abastament</p>	<p>Secundari+Desinfecció</p> <p>Infiltració-percolació + llacunatge</p>	
			<p>CE < 3.000 µS/cm (4) B<1-2 mg/L Cd<0,01 mg/L Mo<0,05 mg/L Se<0,02 mg/L</p>	<p>Si els fangs de l'EDAR superen els líndars de metalls del RD 1310/1990, les concentracions màximes en l'aigua no superaran la Taula 3 annexa</p> <p>Pendent màx. del 15% (5)</p> <p>Reg no aspersió</p>	<p>Secundari+Desinfecció</p>	
			<p>Taula 1 annexa</p>		<p>Secundari+Desinfecció</p> <p>Infiltració-percolació + llacunatge</p>	
			<p>ALTRES PARÀMETRES</p>	<p>Es respectarà una zona de protecció de 30 m de radi al voltant de pous d'abastament</p>	<p>Secundari+Desinfecció</p>	
D	<p>Escherichia coli <10.000 ufc/100 ml Sòlids Suspensió < 35 mg/l</p>	<p>CULTIUS IND/FARRATGES ENSITJATS/CEREALS/OLEAGINOSES</p> <p>REFRIGERACIÓ INDÚSTRIA NO ALIMENTÀRIA</p>	<p>Nemàtodes < 1 ou/L CE < 3.000 µS/cm (4)</p> <p>B<1-2 mg/L Cd<0,01 mg/L Mo<0,05 mg/L Se<0,02 mg/L</p>	<p>En cas de reg superficial zona de protecció de 50 m al voltant de pous d'abastament, 50 m de carreteres i 300 m d'habitatges</p>	<p>Secundari+Desinfecció</p>	
			<p>Terbolesa <10 NTU (>5 NTU 5% mostres) Legionella pneumophila Absència</p>	<p>Si els fangs de l'EDAR superen els líndars de metalls del RD 1310/1990, les concentracions màximes en l'aigua no superaran la Taula 3 annexa</p> <p>Pendent màx. del 15% (5)</p> <p>Reg no aspersió</p>		
				<p>No admesa quan el circuit estigui connectat a qualsevol aparell que pugui generar aerosòls (torre de refrigeració, condensador evaporatiu, etc)</p>		

<p>E</p> <p>Nemàtodes < 1 ou/l Sòlids Suspensió < 35 mg/l</p>	<p>BOSCS/ZONES VERDES NO PÚBLIC</p>	<p>CE < 3.000 µS/cm (4) B<1-2 mg/L Cd<0,01 mg/L Mo<0,05 mg/L Se<0,02 mg/L</p>	<p>En cas de reg superficial es respectarà una zona de protecció de 50 m de radi al voltant de pous d'abastament</p> <p>Pendent màx. del 15% (5)</p> <p>No aspersió</p> <p>No pastura</p>	<p>Secundari</p>
---	--	--	---	-------------------------

NOTES

- | | |
|---------------------|---|
| 1 Recàr. percolació | E. Coli < 200 ufc/100 ml |
| 2 TOC < 1 / X mg/L | X = Coeficient de Contribució |
| 3 Tractaments | En funció d'estudis de detall en cada cas |
| 4 CE > 3.000 µS/cm | Estudi hidrogeològic no afecció |
| 5 Pendent > 15% | Control de l'escolament |

CONDICIONS DE CARÀCTER GENERAL

TOTS ELS LÍMITS DELS DIFERENTS PARÀMETRES SÓN VALORS-GUIA

EN ELS USOS DE REG ES PODRAN ESTABLIR LIMITACIONS I REQUERIMENTS DE TRACTAMENT ADDICIONALS EN FUNCIO DEL BALANÇ DE NUTRIENTS EN CADA CAS

ELS TRACTAMENTS SÓN RECOMANACIONS, I RESTEN, PER TANT, OBERTS A LA INNOVACIÓ TECNOLÒGICA (PE. SISTEMES SÒL-PLANTA, BIOREACTORS, ETC)

Taula 1 ADAPTACIÓ ANNEX I RD 140/2003 CRITERIS SANITARIS DE LA QUALITAT DE L'AIGUA DE CONSUM HUMÀ

SUBSTÀNCIA	VALOR LÍMIT $\mu\text{g/L}$
B.1. Paràmetres químics	
Antimoni	5
Arsènic	10
Benzè	1
Benzo-pirè	0,01
Bor	1
Cadmi	5
Cianur	50
Coure	2000
Crom	50
1,2-Dicloretà	3
Fluorur	1500
Hidrocarburs policíclics aromàtics HAP	0,1
Mercuri	1
Microcistina	1
Níquel	20
Plaguicides totals	0,5
Plaguicida individual	0,1
Aldrin	0,03
Dieldrin	0,03
Heptaclor	0,03
Heptaclor epòxid	0,03
Plom	10
Seleni	10
Trihalometans	100
Tricloretà + Tetracloretè	10
C. Paràmetres indicadors	
Clorurs	250 mg/L
Conductivitat	2500 $\mu\text{S/cm}$
Ferro	200
Manganès	50
pH	6,5 - 9,5

Taula 2 ADAPTACIÓ DE LA TAULA 3 ANNEX TÍTOL IV RD 849/1986 REGLAMENT DEL DOMINI PÚBLIC HIDRÀULIC. VALORS LÍMIT PER A ABOCAMENTS A LLERA PÚBLICA

PARÀMETRE	VALOR LÍMIT	
Aldehids	1	mg/L
Alumini	1	mg/L
Amoni	15	mg/L
Arsènic	0,5	mg/L
Bari	20	mg/L
Cianurs	0,5	mg/L
Clorurs	2000	mg/L
Color	Inapreciable dilució 1/20	mg/L Pt-Co
Coure	0,2	mg/L
Crom III	2	mg/L
Crom VI	0,2	mg/L
DBO5	40	mg/L
Detergents	2	mg/L
DQO	160	mg/L
Estany	10	mg/L
Fenols	0,5	mg/L
Ferro	2	mg/L
Fluorurs	6	mg/L
Fòsfor total (rius)	10	mg/L
Manganès	2	mg/L
Mercuri	0,05	mg/L
Níquel	2	mg/L
N-Nitrats	10	mg/L
Olis i greixos	20	mg/L
Pesticides	0,05	mg/L
Plom	0,2	mg/L
Sòlids gruixuts	Absència	
Sulfats	2000	mg/L
Sulfits	1	mg/L
Sulfurs	1	mg/L
Temperatura	<3°C increment	
Zenc	3	mg/L

Taula 3 VALORS MÀXIMS SI ELS FANGS SUPEREN ELS LLINDARS DEL RD 1310/1990

ELEMENT	VALOR LÍMIT mg/L
Alumini	20
Arsènic	2
Berili	0,5
Bor	2
Cadmi	0,05
Cobalt	5
Coure	5
Crom	1
Ferro	20
Flúor	15
Liti	2,5
Manganès	10
Molibdè	0,05
Níquel	2
Plom	10
Seleni	0,02
Vanadi	1
Zenc	10

ANEJO 3

**Calidades mínimas para la
reutilización de efluentes depurados
(CEDEX)**

PROPUESTA DE CALIDADES MÍNIMAS EXIGIDAS PARA LA REUTILIZACIÓN DIRECTA DE EFLUENTES DEPURADOS SEGÚN LOS DISTINTOS USOS POSIBLES, ASÍ COMO DE ASPECTOS RELATIVOS A LA METODOLOGÍA, FRECUENCIA DE MUESTREO Y CRITERIOS DE CUMPLIMIENTO DE LOS ANÁLISIS ESTABLECIDOS, PARA INCLUIR EN UNA NORMATIVA DE CARÁCTER ESTATAL.

PROPUESTA DE CRITERIOS FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS MÍNIMOS OBLIGATORIOS DE CALIDAD A CONSEGUIR EN EL AGUA RESIDUAL DEPURADA A REUTILIZAR

(TABLA I)

Uso del agua residual regenerada		Criterios de Calidad				
		Biológica		Físico-química		Otros Criterios
		Huevos de Nemátodos intestinales	<i>Escherichia coli</i>	Sólidos en suspensión	Turbidez	
1	Usos domiciliarios: Riego de jardines privados, descarga de aparatos sanitarios, sistemas de calefacción y refrigeración de aire domésticos, y lavado de vehículos.	< 1 huevo/10 L	< 1 ufc/100 mL	< 10 mg/L	< 2 NTU	
2	Usos y Servicios urbanos: Riego de zonas verdes de acceso público (campos deportivos, campos de golf, parques públicos, etc.); baldeo de calles; sistemas contra incendios; fuentes y láminas ornamentales.	< 1 huevo/L	< 200 ufc/100 mL	< 20 mg/L	< 5 NTU	
3	Cultivos de Invernadero.	< 1 huevo/L	< 200 ufc/100 mL	< 20 mg/L	< 5 NTU	<i>Legionella pneumophila</i> < 1 ufc/100 mL
4	Riego de cultivos para consumo en crudo. Frutales regados por aspersión.	< 1 huevo/L	< 200 ufc/100 mL	< 20 mg/L	< 5 NTU	
5	Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne.	< 1 huevo/L	< 1.000 ufc/100 mL	< 35 mg/L	No se fija límite	<i>Taenia saginata</i> y <i>T. solium</i> < 1 huevo/L

Uso del agua residual regenerada		Criterios de Calidad				
		Biológica		Físico-química		Otros Criterios
		Huevos de Nemátodos intestinales	<i>Escherichia coli</i>	Sólidos en suspensión	Turbidez	
6	Riego de cultivos destinados a industrias conserveras y productos que no se consuman crudos. Riego de frutales excepto por aspersión	< 1 huevo/L	< 1.000 ufc/100 mL	< 35 mg/L	No se fija límite	
7	Riego de cultivos industriales, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.	< 1 huevo/L	< 10.000 ufc/100 mL	< 35 mg/L	No se fija límite	
8	Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público. Silvicultura.	<1 huevo/L	No se fija límite	< 35 mg/L	No se fija límite	
9	Refrigeración Industrial, excepto industria alimentaria.	No se fija límite	<10.000 ufc/100 mL	< 35 mg/L	No se fija límite	<i>Legionella pneumophila</i> <1 ufc/100 mL
10	Estanques, masas de agua y caudales circulantes, de uso recreativo en los que está permitido el contacto del público con el agua (excepto baño).	< 1 huevo/L	< 200 ufc/100 mL	< 35 mg/L	No se fija límite	
11	Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el contacto del público con el agua.	No se fija límite	No se fija límite	< 35 mg/L	No se fija límite	
12	Acuicultura (Biomasa vegetal o animal)	< 1 huevo/L	< 1.000 ufc/100 mL	< 35 mg/L	No se fija límite	

Uso del agua residual regenerada		Criterios de Calidad				Otros Criterios
		Biológica		Físico-química		
		Huevos de Nemátodos intestinales	<i>Escherichia coli</i>	Sólidos en suspensión	Turbidez	
13	Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno	< 1 huevo/L	<1.000 ufc/100 mL	< 35 mg/L	No se fija límite	Nitrógeno Total < 50 mg/L
14	Recarga de acuíferos por inyección directa	< 1 huevo/10 L	0 ufc/100 mL	< 10 mg/L	< 2 NTU	Nitrógeno Total < 15 mg/L

Notas:

- Por ufc se entiende unidad formadora de colonia.
- Dentro de la categoría de los Nemátodos intestinales, se considerarán los géneros siguientes: *Ancylostoma*, *Trichuris*, *Ascaris*, *Strongyloides*, *Trichostrongylus*, *Toxocara*, *Enterobius*, y *Capillaria*.
- Se permite la reutilización del agua residual para usos domiciliarios, con excepción del consumo humano que queda taxativamente prohibido en el Reglamento de Dominio Público Hidráulico (R.D. 849/1986, de 11 de abril), excepto en situaciones catastróficas o de emergencia. Dado el riesgo que comporta este uso, las autoridades deberán prestar una atención especial a la autorización de este tipo de concesión, además de asegurar un control estricto de las condiciones de reutilización exigidas.
- Queda prohibida la reutilización del agua residual depurada en los circuitos de refrigeración industrial de la industria alimentaria y similares.
- Para los usos nº 10 y 11, además de obligar al cumplimiento de los parámetros indicados en la tabla anterior, para que el agua residual regenerada sea susceptible de reutilización deberá presentar ausencia total de olores.
- Queda taxativamente prohibido el uso del agua residual depurada para el cultivo de moluscos filtradores en Acuicultura.
- La operación de recarga de acuíferos por infiltración a través del terreno, se hará obligatoriamente mediante la utilización de un lecho uniforme de suelo o arena de 1,5 metros de espesor mínimo.
- Los criterios de calidad indicados para cada uno de los usos establecidos en la tabla I, deben ser considerados como mínimos exigibles para la reutilización, pudiendo las autoridades competentes hacerlos más estrictos en las concesiones de agua si lo consideran conveniente.
- Los usos establecidos en la anterior tabla I, no serán los únicos posibles ni permitidos para el agua residual regenerada cualquier nuevo uso no contemplado en la normativa básica deberá ser objeto de una regulación particular por la autoridad concedente del mismo.

PROPUESTA DE CRITERIOS MÍNIMOS DE CALIDAD SOBRE SUSTANCIAS POTENCIALMENTE TÓXICAS DEL AGUA RESIDUAL REGENERADA

A efectos de control de sustancias potencialmente tóxicas en el agua residual regenerada, se establecen los siguientes criterios de calidad en función de los usos a los que se vaya a destinar:

1. Usos domiciliarios (Uso 1 de la Tabla I).

Se establecen como valores admisibles las Concentraciones Máximas indicadas en la Reglamentación Técnico - Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público (R.D. 1138/1990, de 14 de Septiembre) en su Anexo C denominado "Caracteres relativos a sustancias no deseables".

2. Acuicultura (para biomasa consumible) y recarga de acuíferos (Usos 12, 13 y 14 de la Tabla I).

Se establecen como valores admisibles los indicados en el Reglamento de Planificación Hidrológica (R.D. 927/1988, de 29 de Julio) en su Anexo nº 1 denominado "Calidad exigida a las aguas superficiales que sean destinadas a la producción de agua potable", siendo la Concentración Máxima Admisible la indicada en la columna Tipo A1.

3. Usos de riego agrícola (Usos 3, 4, 5, 6, y 7 de la Tabla I).

Si en la depuradora cuya agua va ser objeto de reutilización, se detectan concentraciones de metales pesados en lodos superiores a las fijadas en el R.D. 1310/90, se analizarán dichos metales en el agua regenerada.

En este caso, la Concentración Máxima Admisible será la fijada en la siguiente tabla:

Elemento Químico	Concentración Máxima Admisible (mg/l)
Cadmio	0,05
Cobre	5,0
Cromo	1,0
Mercurio	0,01
Níquel	2,0
Plomo	10,0
Zinc	10,0

4. Otros usos indicados en la Tabla I.

No se establecen límites para elementos potencialmente tóxicos.

Las Autoridades Sanitarias de las correspondientes Comunidades Autónomas podrán exigir el control de otros parámetros de interés sanitario ante sospecha de vertido a las aguas residuales de productos no indicados en el presente decreto.

ANEXO I METODOS DE ANALISIS

A.- MÉTODOS DE REFERENCIA

Huevos de Nematodos intestinales y de Cestodos (tenias):

Método de Bailenger modificado por Bouhoum & Schwartzbrod ⁽¹⁾.

Legionella pneumophila:

Métodos 9260-J de la edición n° 20 del “Standard methods for the examination of water and wastewater” con confirmación de positivos a nivel de especie ⁽²⁾.

Escherichia coli:

Método del Número Más Probable (NMP) o Filtración por Membrana (FM) ⁽³⁾.

Sólidos en Suspensión a 0,45 micras, Turbidez y Nitrógeno total (N. orgánico + N. amoniacal + Nitritos + Nitratos):

Método: Aquel que garantice una exactitud, precisión y límite de detección inferiores o iguales al 25% de la concentración máxima admisible reglamentada (criterio de calidad límite)⁽⁴⁾.

Resto de parámetros contemplados en este decreto:

Método: Aquel que garantice una exactitud, precisión y límite de detección inferiores o iguales a los establecidos en la Directiva 98/83/CE DEL CONSEJO⁽⁵⁾.

Nota (1): “*Analysis of wastewater for use in agriculture*”. AYRES & MARA. OMS. 1996.

Nota (2): APHA – AWWA – WPCF. 1998.

Nota (3): “*Analysis of wastewater for use in agriculture*”. AYRES & MARA. OMS. 1996.

Método alternativos: Número Más Probable (NMP) o Filtración por Membrana (FM) según ISO 9308-1 o Método 9221-F de la edición n° 20 del “Standard methods for the examination of water and wastewater” de APHA-AWWA-WPCF.1998.

Nota (4): Exactitud, precisión y límite de detección según vienen definidas en la DIRECTIVA 98/83/CE DEL CONSEJO.

Nota (5): Para aquéllos parámetros no citados explícitamente en dicha DIRECTIVA, la exactitud, precisión y límite de detección serán del 10% de la concentración máxima admisible para compuestos inorgánicos (sales y metales) y del 25% para el resto.

B.- CRITERIOS GENERALES DE CALIDAD ANALÍTICA

Control de comprobación (laboratorios de las instalaciones de regeneración):

Los laboratorios que actúen en el campo de las determinaciones analíticas anteriormente citadas, para el control de comprobación deberán trabajar siguiendo criterios de control de calidad.

Control de auditoría:

Los laboratorios que actúen en el campo de las determinaciones analíticas anteriormente citadas deberán trabajar para el control de auditoría siguiendo criterios de aseguramiento de la calidad según la norma EN-45001 y contar con los requisitos de acreditación de la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC).

ANEXO II

CRITERIOS DE CUMPLIMIENTO

Para el control de la calidad del agua residual regenerada, se fijan dos puntos de control:

- a) Salida de la planta de tratamiento terciario o entrada al sistema de distribución.
- b) Punto de aplicación del agua residual regenerada.

Se fijan dos tipos de control, en función tanto de los parámetros a analizar como de la frecuencia de los mismos, siendo aquellos:

- a) De comprobación. Se podrán realizar en los laboratorios existentes en las instalaciones de tratamiento o distribución y comprenderán las determinaciones relativas a parámetros indicados en la tabla I.
- b) De auditoría. Serán realizados por un laboratorio o acreditado externo, y además de las determinaciones relacionadas en el caso anterior, deberán realizarse los correspondientes a sustancias potencialmente peligrosas.

Las frecuencias de análisis para el control de comprobación serán las indicadas en el anexo III de este documento. Para el caso de los controles de auditoría deberá realizarse uno por semestre y como mínimo uno por periodo de explotación.

La responsabilidad de los controles de comprobación recae en:

- a) El responsable del control en la salida del tratamiento terciario será la entidad explotadora de éste, y
- b) El responsable del control en el punto de aplicación será la entidad distribuidora.

La responsabilidad de los controles de auditoría recae en las autoridades competentes.

Se establecen unos rangos máximos de desviación respecto a los límites de la Tabla I, que serán: 1 unidad logarítmica para *E. coli* y *Legionella*, 50% para el resto de parámetros físico-químicos y 100% para los huevos de parásitos y turbidez.

A efectos del aseguramiento de la calidad del efluente regenerado para los usos establecidos en la tabla I, se contemplarán las siguientes situaciones:

- a) La calidad del agua se considerará conforme, cuando los controles de comprobación de un semestre (o fracción, en caso de periodos de explotación inferiores) cumplan que:
 - El 90% de las muestras no exceda del valor límite establecido de los parámetros en la Tabla I.
 - El 10% de las muestras que exceda del valor límite de los parámetros, no sobrepase el valor máximo de desviación establecido.
- b) En caso de que los controles de comprobación de un semestre (o fracción, en caso de periodos de explotación inferiores) superen alguno de los límites de la tabla I en más de un 10% de las muestras, se duplicará la frecuencia de muestreo para el periodo siguiente, al tiempo que la autoridad hidrográfica competente podrá suspender la concesión de reutilización hasta que se adopten las medidas adecuadas para asegurar la calidad del agua a reutilizar.
- c) Cuando el resultado en un control de comprobación supere en uno de los valores, al menos, los rangos máximos de desviación establecidos, se preverán mecanismos similares a los indicados en el art. 26 del R.D. 1138/1990 con comunicación a las autoridades sanitarias, a la autoridad hidrográfica y a los usuarios. Adicionalmente, se incrementará al doble la frecuencia del control de comprobación hasta que los resultados de cuatro controles sucesivos muestren valores inferiores a los límites de los rangos máximos citados.
- d) En caso de que en dos controles de comprobación sucesivos se superen los rangos máximos admisibles, se procederá a la inmediata suspensión de la reutilización. No se

deberá levantar la citada suspensión hasta que las autoridades competentes así lo autoricen, una vez que se hayan tomado las medidas oportunas en lo relativo al tratamiento para que esta incidencia no pueda volver a suceder, y se haya constatado que el agua residual regenerada cumple de forma estacionaria todos los límites de calidad indicados en este documento.

- e) En caso de que en el control de auditoría se superen los rangos máximos admisibles citados en el punto 4 del anexo II, se procederá a un contranálisis dirimente en el plazo máximo de una semana. Si se repite la anomalía se actuará siguiendo la pauta del apartado 5.d. del presente anexo.

Libros de control e incidencias.

Todas las empresas proveedoras y/o distribuidoras de aguas residuales regeneradas estarán obligadas a llevar los siguientes libros o registros:

- Libro de control. En este libro, deberán figurar por años:
 - a) Lugar, fecha y hora de las tomas de muestras, tanto para los controles de comprobación como de auditoría.
 - b) Identificación de los puntos donde las muestras han sido recogidas.
 - c) Fecha de los análisis.
 - d) Laboratorio que realiza el análisis.
 - e) Métodos analíticos utilizados.
 - f) Resultados de los análisis.
 - g) Registro de caudales regenerados y reutilizados

Este libro deberá conservarse durante un periodo de cinco años, a disposición de la autoridad competente que lo solicite.

- Libro de incidencias:

En este libro, deberán figurar, por años, cuantas incidencias se hayan producido en el sistema de regeneración y/o distribución, así como las medidas adoptadas en relación con las mismas, bien por propia iniciativa o a requerimiento de las autoridades competentes.

Este libro deberá conservarse durante un periodo de cinco años, a disposición de la autoridad competente que lo solicite.

Régimen sancionador.

Si de las investigaciones efectuadas en relación con la pérdida de calidad del agua regenerada se dedujese la existencia de infracciones del presente decreto por acción, omisión, o negligencia, imputables a la entidad concesionaria, la Administración competente impondrá a aquella las sanciones correspondientes sin perjuicio de las responsabilidades civiles, penales o de otro orden que puedan concurrir.

Sistemas de gestión del agua de baja calidad.

Deberán preverse en toda instalación, los sistemas hidráulicos y mecánicos necesarios para poder volver a someter a tratamiento de regeneración aquellos caudales de agua residual que por cualquier circunstancia (ejemplo: fases de arranque y paro, limpieza de los equipos, etc.) no cumplan con los límites establecidos para su uso, o bien proceder a su vertido como agua residual depurada.

Régimen transitorio.

Se establece un periodo de 1 año para la adaptación de las instalaciones existentes a la nueva normativa técnica.

ANEXO III

FRECUENCIA DE MUESTREO

A) REUTILIZACION MEDIANTE TRATAMIENTO CONTINUADO

Parámetro	Frecuencia de muestreo /Número de muestras al año				
	Usos domiciliarios (Uso 1)	Acuicultura, y recarga de acuíferos (Usos 12, 13 y 14)	Usos urbanos, cultivos de invernadero, riegos de cultivos y riego de pastos (Usos 2,3,4,5, 6, y 7)	Refrigeración industrial (Uso 9)	Riego de bosques, y estanques de uso recreativo y ornamental (Usos 8, 10 y 11)
Nematodos intestinales	Semanal /52 2 veces	Semanal /52 2 veces	Quincenal/26 Semanal/52	- No - Semanal/52	Mensual/12 (Usos 8 y 10)
Escherichia coli	semana/104 Diaria/365	semana/104 Diaria/365	Semanal/52 Diaria/365 (Usos 2,3 y 4)	Quincenal/26 - No -	Quincenal/26 (Uso 10)
Sólidos en suspensión	Diaria/365	Diaria/365	Mensual/12 (Uso 3)	Mensual/12	Mensual /12
Turbidez	- No -	(Uso 14)	Mensual/12 (Uso 5)	- No -	- No -
Legionella pneumophila	- No -	- No -	- No -	- No -	- No -
Taenia saginata y T. solium		Semanal/52 (Usos 13 y 14)			
Nitrógeno Total					
Substancias potencialmente tóxicas	Anexo C del R.D. 1138/1990. Trimestral/4	Anexo nº 1 del R.D. 927/1988. Semestral/2	Metales pesados del anexo C del R.D. 1310/1990. Puntual, cuando se supere la concentración máxima admisible en sus lodos de depuración según R.D. 1310/1990.	No se contempla su análisis	No se contempla su análisis

Se considerarán como tratamiento continuado, aquellos sistemas de regeneración del agua residual depurada que, por sus características, funcionen durante todos los días del año, y cuyo efluente se homogeneice por las propias condiciones del tratamiento.

B) REUTILIZACION MEDIANTE TRATAMIENTO DISCONTINUO

Serán considerados como tratamientos discontinuos, aquellos sistemas de regeneración del agua residual depurada en los que se producen fases de arranque y detención por lo menos dos veces al año.

La duración de las fases de arranque y detención serán fijadas en la concesión. Se prohíbe, durante estas fases, la reutilización del agua regenerada.

En caso de que la duración continuada del tratamiento sea inferior a un mes, se incrementará la frecuencia de análisis de control, doblándose el número de muestras establecido para los tratamientos ininterrumpidos.

Notas (comunes para ambas):

- La frecuencia de muestreo de cada parámetro podrá ser reducida a la mitad cuando las muestras analizadas en los dos años anteriores hayan resultado ser sensiblemente más favorables

que el límite establecido para el parámetro en cuestión (punto IV del anexo II), siempre que no se aprecie ningún indicio de disminución de la calidad de las aguas.