



**Centro Universitario de la Defensa  
en la Escuela Naval Militar**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

*Tratamiento de aguas grises para su reutilización y  
posible implantación en buques de la Armada*

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**ALUMNO:** Juan Bohórquez Baturone

**DIRECTORES:** Rosa Devesa Rey  
Santiago Urréjola Madriñán

**CURSO ACADÉMICO:** 2015-2016

**Universida<sub>de</sub>Vigo**





# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Tratamiento de aguas grises para su reutilización y  
posible implantación en buques de la Armada*

**Grado en Ingeniería Mecánica**  
Intensificación en Tecnología Naval  
Cuerpo General

UniversidadeVigo



## RESUMEN

Las aguas grises se definen como aguas residuales urbanas e incluyen aguas procedentes de los baños, lavado de manos, lavado de máquinas, lavavajillas y fregaderos. Según su clasificación puede excluir aquellas procedentes de las cocinas, por tener concentraciones de aceites en un nivel significativo. No se permite legalmente que estas aguas, una vez tratadas, se destinen a consumo humano, por lo que su potabilización no se contempla como objetivo.

Las aguas grises están formadas en un 50-80 % por aguas residuales domésticas. En igual medida ocurre en el caso de los buques militares. Debido a los bajos niveles de patógenos y nitrógeno de esta agua, su reutilización y reciclado está recibiendo cada vez más atención y se está convirtiendo en una forma de aprovechamiento de los recursos del agua. Existen estudios en la bibliografía sobre el tratamiento de esta agua con diferentes tecnologías de diferente complejidad.

En este trabajo se evalúan diferentes tipos de tratamiento de las aguas grises, mediante el uso de coagulantes como ácido cítrico y lactato cálcico, basándose en el análisis de la turbidez principalmente, contrastado con el estudio de la absorbancia y la fitotoxicidad. También se plantea el posible estudio de la electrocoagulación como una alternativa a mayores.

El trabajo se ha realizado en el laboratorio de Química de la Escuela Naval Militar de Marín y el objetivo secundario del proyecto es abrir una línea de futuras investigaciones sobre la implantación de tecnologías de reutilización o reciclaje de aguas grises en los buques de la Armada Española.

## **PALABRAS CLAVE**

Agua residual, patógenos, potabilización, coagulantes, ácido cítrico, lactato cálcico, turbidez, absorbancia, fitotoxicidad, electrocoagulación.

## AGRADECIMIENTOS

Principalmente debo agradecer el interés, la dedicación y el incondicional apoyo de mis tutores Rosa Devesa y Santiago Urréjola durante la ejecución experimental en el laboratorio así como en el desarrollo de la memoria.

He de hacer mención a mi tutor académico durante estos cinco años, Andrés Suárez, por soportar mis innumerables preocupaciones, y siempre tener un buen consejo para seguir rindiendo al nivel exigido y cumplir objetivos.

Así mismo, por las horas pasadas juntos, a mis compañeros de trabajo en el laboratorio, en especial a Andrés Campos y a Javier Lora, los cuáles hemos compartimos mucho tiempo de experimentación y han soportado con buen ánimo y paciencia mi especial sentido del humor.

En este mismo sentido, mis compañeros de camarera, Álvaro, Luis Carlos y Víctor, con quiénes llevo 3 años compartiendo habitación, han escuchado con mucho o poco interés mis historias sobre la Química, igualmente también me han aportado conocimientos a la hora de desarrollar la memoria.

También reconocer la ayuda prestada por el personal de la Escuela Naval Militar, en especial del Núcleo de Lanchas de Instrucción, los suboficiales Don Laureano, Don Javier y Don Antonio, que me han facilitado acceder a las lanchas para la recogida de muestras y también me han aportado información sobre el procedimiento de tratamiento de aguas en las Fuerzas Armadas.

Agradecer el trato recibido por el comandante del Tabarca, TN Mejías, y su cabo primero de máquinas Don Jesús, quienes me contaron un poco sobre los convenios del mar, y me explicaron el funcionamiento de las plantas de tratamiento de los buques, así como las limitaciones que muchas unidades tienen a la hora de dicho tratamiento, llegando a ser en algunos casos inexistente.

Por último, y pese a todo lo más importante, mi familia, quienes llevan 5 años apoyándome en todos y cada uno de mis hitos por la Escuela Naval, con las recaídas anímicas propias de las adversidades de la vida, pero siempre teniendo una palabra de aliento de un hermano o un sabio consejo de un padre, que hacen más liviano mi caminar.

Y como es bien sabido, para ninguna madre es fácil tener un hijo en la distancia, por ello mi agradecimiento especial es para mi madre, por su incondicional amor y entrega, sustento imprescindible en mi vida.





# CONTENIDO

Contenido .....	1
Índice de Figuras .....	4
Índice de Tablas.....	5
1. Introducción.....	6
1.1 Introducción a la Ingeniería Ambiental .....	6
1.2 Soluciones para un desarrollo sostenible .....	6
1.2.1 Los límites del desarrollo: .....	6
1.2.2 El papel de la ingeniería ambiental:.....	7
1.3 El tratamiento de las aguas residuales.....	8
1.3.1 Introducción.....	8
1.3.2 Los vertidos. ....	8
1.3.3 Características de los vertidos. ....	10
1.4 Aguas grises .....	11
1.4.1 Diferencias claves entre aguas grises y aguas negras:.....	11
1.4.2 ¿Qué distingue las aguas grises de las aguas negras?.....	12
1.5 Contaminantes orgánicos:.....	12
1.5.1 Introducción a los contaminantes orgánicos:.....	12
1.5.2 Jabones:.....	13
1.5.3 Detergentes: .....	14
1.5.4 Productos farmacéuticos y sus productos de degradación:.....	15
1.5.5 Bactericidas: .....	15
1.5.6 Contaminantes orgánicos biorrefractarios: .....	16
1.5.7 Metales:.....	16
1.6 EDAR.....	18
1.6.1 Objetivo de una EDAR.....	18
1.6.2 Fases de depuración .....	18
1.6.3 Tratamiento de aguas residuales urbanas: .....	19
1.7 Antecedentes relacionados y motivación .....	20
1.7.1 Citas destacadas: .....	20
1.7.2 Convenio y protocolo de Londres.....	20
1.7.3 Las Fuerzas Armadas con el Medioambiente.....	23

2 Estado del arte .....	24
2.1 Estudio de la eliminación de partículas en suspensión en agua: .....	24
2.1.1 Turbidez .....	24
2.1.2 Directrices de calidad para el reciclaje de agua .....	27
2.1.3 Absorbancia .....	27
2.1.4 Coagulación y floculación .....	28
2.1.5 Ácido Cítrico (E 330) .....	30
2.1.6 Lactato cálcico (E 327): .....	32
2.1.7 La filtración .....	33
3 Materiales y métodos.....	34
3.1 Trabajo de laboratorio .....	34
3.1.1 Plan de trabajo .....	34
3.1.2 Ejecución del plan de trabajo.....	35
3.1.3 Turbidez .....	36
3.1.4 Absorbancia .....	36
3.1.5 Fitotoxicidad .....	37
3.1.6 Software STATISTICS:.....	39
4 Resultados y Discusión .....	40
4.1.1 Condiciones experimentales .....	40
4.1.2 Método de optimización Box-Behnken .....	42
4.1.3 Ajuste del modelo .....	44
4.1.4 Histogramas de valores .....	45
4.1.5 Análisis de las variables con mayor influencia en el proceso .....	47
4.1.6 Predicción de los valores óptimos de turbidez .....	48
4.1.7 Análisis de valores óptimos de turbidez mediante superficies de respuesta.....	50
4.1.8 Valoración de la absorbancia: .....	51
4.1.9 Valoración de la fitotoxicidad: .....	52
5 Conclusiones, implantación en buques y líneas futuras .....	53
5.1 Conclusiones .....	53
5.2 Implantación en buques .....	54
5.3 Líneas futuras .....	56
5.3.1 Estudio de la electrocoagulación: .....	56
5.3.2 Continuación y optimización del proceso para conseguir agua apta para el consumo humano: .....	57
5.3.3 Guía técnica en reciclaje de aguas grises (AQUA España): .....	57
6 Bibliografía.....	58

Anexo I: normas de seguridad e higiene del laboratorio de química del edificio isaac peral. ....61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Análisis global de la calidad del agua necesaria en función de los usos .....	20
Figura 1-2 Emblema de la OMI .....	23
Figura 2-1 Reflexión de la luz .....	25
Figura 2-2 Proceso secuencial de la coagulación- floculación [18].....	28
Figura 2-3 Lote de ácido cítrico usado .....	30
Figura 2-4 Bote de lactato cálcico usado: Pentahidratado.....	32
Figura 2-5 Filtración con y sin coagulante [23] .....	33
Figura 3-1 Test de jarras.....	35
Figura 3-2 Maletín de trabajo del turbidímetro .....	36
Figura 3-3 Pantalla del espectrofotómetro con el análisis de la muestra original .....	37
Figura 3-4 Placas Petri en la estufa .....	38
Figura 4-1 Recta de valores de turbidez con ácido cítrico .....	44
Figura 4-2 Recta de valores de turbidez con lactato cálcico .....	44
Figura 4-3 Histograma de valores predichos para ácido cítrico .....	45
Figura 4-4 Histograma de valores predichos para lactato cálcico .....	46
Figura 4-5 Gráfico de Pareto para el ácido cítrico .....	47
Figura 4-6 Gráfico de Pareto para el lactato cálcico .....	47
Figura 4-7 Valores críticos predichos para el ácido cítrico.....	49
Figura 4-8 Valores críticos para el lactato cálcico .....	49
Figura 4-9 Superficie cuadrática para el ácido cítrico.....	50
Figura 4-10 Superficie cuadrática para el lactato cálcico.....	50
Figura 4-11 Placas petri tras 5 días en la estufa .....	52
Figura 4-12 Semillas germinadas .....	52
Figura 5-1 Planta de tipo biológico convencional Delta .....	54
Figura 5-2 Planta de tratamiento de aguas residuales de tipo físico-químico .....	55
Figura 5-3 Planta de tratamiento de aguas residuales de tipo biorreactor de membranas “Delta” ..	56
Figura 6-0-1 Etiquetado mediante símbolos para captar la atención .....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Constituyentes del agua residual, fuentes y efectos .....	13
Tabla 2-1 Rangos de contaminación de diferentes aguas grises .....	26
Tabla 2-2 Directrices de calidad en función de la turbidez para aguas grises reciclables [15]. .....	27
Tabla 2-3 Valor de turbidez para uso reciclado [16]. .....	27
Tabla 2-4 Usos comunes del ácido cítrico.....	31
Tabla 2-5 Principales características del ácido cítrico .....	31
Tabla 2-6 Principales características del lactato cálcico .....	32
Tabla 4-1 Variables dependientes utilizadas en este estudio en la optimización .....	40
Tabla 4-2 Variables independientes utilizadas en este estudio en la optimización del ácido cítrico .....	41
.....	
Tabla 4-3 Variables independientes utilizadas en este estudio en la optimización del lactato cálcico .....	41
.....	
Tabla 4-4 Experimentos realizados para el ácido cítrico y resultados para turbidez .....	43
Tabla 4-5 Experimentos realizados para el lactato cálcico y resultados para turbidez .....	43
Tabla 4-6 Coeficientes significativos ( $p < 0.05$ ) .....	48
Tabla 4-7 Valores de absorbancia obtenidos.....	51

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Introducción a la Ingeniería Ambiental

El dinamismo del ser humano viene contrastado por la voluntad de autoridad sobre el medio para enfrentarse a sus necesidades intentando conseguir el mayor bienestar posible. La explotación de recursos naturales y la transformación negativa de la calidad del medio ambiente constituyen las consecuencias más evidentes y graves de este transcurso, sin control ni desarrollo, al margen de los principios más básicos de imparcialidad y solidaridad para con las generaciones futuras.

El concepto de desarrollo sostenible, comenzó a usarse a mediados del siglo XIX, pero se formalizó a finales del siglo XX, desplegándose como la única opción aceptablemente válida para una población cuantiosa y creciente, cuyo mayor fin es el bienestar. En este marco social, la Ingeniería Ambiental juega un papel fundamental y adquiere relevancia de primer orden, hasta el punto de constituir uno de los campos más activos y versátiles de la tecnología actual. Su objetivo primordial es la persecución de soluciones que optimicen el progreso material junto al respeto por el entorno, estableciendo la línea en la que debe desarrollarse la actividad del hombre respecto a la Tierra [1].

## 1.2 Soluciones para un desarrollo sostenible

### *1.2.1 Los límites del desarrollo:*

El ser humano ha fraguado su capacidad de autoridad sobre el medio en una larga carrera, que le ha llevado de la lucha por la supervivencia al bienestar. Con las connotaciones de la injusta distribución de la riqueza, resulta incuestionable que las condiciones de vida del hombre han experimentado una evolución trascendental marcada por la conquista de niveles de desarrollo crecientes.

Se da paso a la aplicación sistemática de los conocimientos científicos, lo que permite el desarrollo de métodos y procedimientos que configuran una diversa y potente oferta de la tecnología, fenómeno que caracteriza la civilización actual.

Las agresiones al medio ambiente conforman un capítulo que define la manera de entender el desarrollo que ha venido conduciendo la acción del hombre, de forma muy enfatizada en la historia contemporánea. Los episodios de contaminación atmosférica de Manchester, Donora o Londres, los trágicos casos de la bahía de Minamata, Seveso, Bophal o Love Canal, constituyen, entre un sinfín de lamentables sucesos, ejemplos claros de la falta de previsión y la insensibilidad con la que se ha manejado el factor ambiental en las actividades productivas.

La certeza de los efectos negativos del desarrollo indisciplinado sobre el medio ambiente provoca las reacciones de científicos, colectivos sociales y, al cabo, de los poderes públicos, que se plasman en la elaboración de medidas legales y planes de actuación dirigidos a proteger el medio de las agresiones contaminantes, de forma que no se vean ligadas la disponibilidad de recursos y la calidad ambiental para las futuras generaciones.

### *1.2.2 El papel de la ingeniería ambiental:*

En este contexto, presidido por la importancia decisiva del factor ambiental en el proceso de desarrollo, adquiere relevancia un área científico-técnica que integra los contenidos que definen el perfil de una actividad profesional con carácter propio, la ingeniería ambiental. Emergida como ámbito de especialidad de la ingeniería química y de procesos, constituye hoy día un campo de la tecnología plenamente reconocido en los países más avanzados, en los que se ha desarrollado como titulación universitaria equiparable a las ingenierías con implantación tradicional.

La ingeniería ambiental puede definirse como el campo de la tecnología que tiene por objeto la concepción, diseño e implantación de soluciones para minimizar los efectos de las actividades humanas sobre el medio ambiente. Dichas soluciones se materializan tanto en forma de sistemas correctivos como en el marco de estrategias de carácter preventivo. Son precisamente estas últimas las que ocupan las líneas de interés prioritario que orientan la evolución futura de este campo de la ingeniería [1].

Desde los campos más tradicionales del tratamiento de las aguas residuales urbanas hasta los más recientes, como la descontaminación de suelos o la gestión de los residuos peligrosos, pasando por el control de la contaminación atmosférica, la ingeniería ambiental se ha visto forzada a elaborar soluciones para excesivos problemas que requieren la concepción e implantación de métodos, procedimientos y/o estrategias técnicamente posibles y económicamente admisibles. En efecto, como en cualquier otro campo de la tecnología, el factor económico juega un papel fundamental en la síntesis y selección de alternativas. La economía de una solución depende, lógicamente, de la dificultad e importancia del problema, lo que impide generalizar en términos cuantitativos.

En efecto, la descontaminación de suelos no se puede comparar en términos económicos con la de las aguas, y el propio coste de tratamiento de agua residual varía sensiblemente según la naturaleza y concentración de los contaminantes presentes, pudiendo encontrarse diferencias incluso de orden de magnitud entre tipos de efluentes de distintos orígenes y naturaleza.

## **1.3 El tratamiento de las aguas residuales**

### *1.3.1 Introducción.*

La problemática de la contaminación del medio hídrico, a pesar de existir referencias históricas desde la Antigüedad, ha alcanzado unos límites máximos, poniendo en grave peligro el futuro de la Humanidad a lo largo de este último siglo, debido fundamentalmente al gran crecimiento industrial, así como a la evolución demográfica de la población (la población mundial se ha duplicado desde 1950 y está próxima a alcanzar los 7400 millones de habitantes). Este problema se ve agravado por la concentración tanto industrial como humana en áreas delimitadas.

Hasta hace relativamente poco tiempo, los vertidos producidos por los asentamientos de población y por la escasa industria existente podían ser asimilados por los cauces receptores, de tal forma que, a través de los procesos de dilución y autodepuración natural de las aguas, en espacios y tiempos delimitados, estas volvían a adquirir unas características suficientemente aceptables para poder ser reutilizadas por otros posibles usuarios del cauce público. En la actualidad, los vertidos producidos son de tal importancia en muchos casos que la capacidad de autodepuración del cauce no es suficiente, deteriorándose de tal forma que imposibilita la reutilización del agua posteriormente.

Llegados a este punto, podría preguntarse qué se entiende por contaminación del agua. Hay múltiples y diferentes contestaciones, según el punto de vista de la persona que conteste. Se podría definir la contaminación del medio hídrico como la alteración física, biológica, química o simplemente estética producida por la actividad, ya sea directa o indirecta del hombre.

La ingeniería ambiental se puede definir como el conjunto de procesos y operaciones unitarias. Encaminadas al tratamiento y depuración de las aguas residuales, tanto urbanas como industriales, antes de su vertido a una cauce receptor, con el fin de evitar al máximo cualquier alteración del mismo [2].

### *1.3.2 Los vertidos.*

Desde la Revolución Industrial, los esfuerzos realizados por el hombre para preservar el medio ambiente de los incipientes niveles de contaminación por metales han sido infructuosos, dando como resultado la transformación de lagos, ríos y zonas costeras en depósitos de efluentes contaminados en los que los ciclos biogeoquímicos han sido en algunos casos totalmente alterados. Con el aumento de la tecnología, dos grupos de sustancias han centrado la atención de los investigadores; por una parte los nutrientes, particularmente el fósforo, que favorecen un desarrollo biológico excesivo y, como consecuencia, el agotamiento del oxígeno, provocando la eutrofización del medio y, por otra, los productos químicos sintéticos y otras sustancias de desecho que a menudo provocan efectos indeseados en el medio acuático. Se ha calculado que los efluentes industriales y domésticos introducen en el medio acuático hasta un millón de contaminantes distintos.

Entre ellos se incluyen algunos considerados no dañinos, pero que pueden provocar olores o sabores desagradables al agua. Otros, sin embargo, provocan consecuencias directas o indirectas en el organismo humano, como por ejemplo, compuestos policíclicos aromáticos, pesticidas, elementos radiactivos y metales traza. Metales y metaloides tóxicos como mercurio, cadmio, arsénico, cobre y muchos otros tienden a acumularse en los sedimentos de fondo, en donde pueden quedar retenidos o ser liberados en función de las condiciones (pH, Eh,...) del medio.



Si dichas condiciones favorecen su liberación y la forma química en la que se encuentren favorece su biodisponibilidad, podrán alcanzar la cadena trófica y, de esta manera, llegar al hombre, en donde su toxicidad podrá provocar daños agudos o crónicos.

Los efectos nocivos que la contaminación de un cauce produce son múltiples, entre los más importantes son de destacar:

- propagación de enfermedades transmisibles vía hídrica. Es importante tener en cuenta que en los países denominados del “tercer mundo” el 80% de las enfermedades y el 30% de los fallecimientos se producen por enfermedades transmitidas por el agua, al consumirla de forma inadecuadamente tratada.
- acción tóxica y cancerígena.
- utilización para uso humano directo o posterior.
- incidencias sobre la producción de productos alimenticios.
- reducción de las posibilidades de su empleo industrial y agropecuario posterior.
- limitación del uso del agua con fines recreativos.

Las aguas residuales, tanto las de origen industrial como las de origen doméstico, al ser vertidas en el cauce de un río, provocan una alteración en los equilibrios físicos, químicos y biológicos del agua. Ahora bien, si esta agua que se vierte ha sido previamente tratada o depurada, el impacto producido será menor que si se vierte cruda, y tanto menos cuanto más complejo haya sido el tratamiento [3].

El grado de tratamiento de un agua residual debe estar de acuerdo con:

- Características reológicas del cauce receptor
- Relación de caudales entre el cauce receptor y el vertido
- Estado de las aguas del río
- Utilización por parte de otros usuarios del receptor en los kilómetros posteriores
- Posibilidad de tomas de aguas próximas
- Balance hídrico de la zona
- Fauna y flora del cauce y del entorno

Para todo esto es muy importante el conocimiento del receptor, lo que permite saber en todo momento la carga que el río puede admitir sin llegar a sufrir un desequilibrio biológico irreversible o importante.

El comité de expertos de la OMS, en su informe técnico 318, “Lucha contra la contaminación de las aguas”, en su apartado 5, titulado “determinación de la calidad de las aguas de los ríos y de los efluentes”, cita como índices fundamentales para medir la calidad de las aguas los siguientes:

- Concentración de oxígeno disuelto
- Concentración de materia oxidable por vía biológica (DBO)
- Concentración de amonio
- Salinidad
- Temperatura
- Gérmenes patógenos

A estos parámetros habría que añadir otros a fin de poder hacer un diagnóstico exacto del estado del agua que se desea estudiar. Por ejemplo, la concentración de materia oxidable por vía química (DQO), carbono total, nitritos, turbiedad, pH, tóxicos, metales pesados, etc. [4].

### *1.3.3 Características de los vertidos.*

Las diferentes características contaminantes que se pueden encontrar en las aguas residuales, ya sean industriales o urbanas, se pueden clasificar de forma general en los siguientes grupos:

a) Contaminantes físicos:

- Características organolépticas: color, olor y sabor
- Grasas y aceites
- Espumas
- Temperaturas
- Sólidos: totales, disueltos, en suspensión y flotables

b) Contaminantes químicos:

- Materia orgánica: biodegradable y no biodegradable
- pH
- Acidez/alcalinidad
- Nitrógeno: total, orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos
- Fósforo: orgánico e inorgánico
- Salinidad
- Metales pesados: níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio
- Detergentes
- Tóxicos y pesticidas

c) Gases:

- Nitrógeno
- Anhídrido carbónico
- Metano
- Sulfuro de hidrógeno

d) Biológicos:

- Protistas: bacterias, hongos, protozoos y algas
- Animales y plantas: rotíferos y crustáceos
- Virus [5]

## **1.4 Aguas grises**

Existe la creencia por parte de muchos ingenieros sanitarios de que toda el agua sucia es la misma. Esto no es cierto. Hay distinciones muy importantes que se pueden hacer entre aguas grises (baño, fregadero y colada) y aguas negras (retretes) para la causa de la protección medioambiental e importantes implicaciones para saber cómo estos desechos pueden ser tratados. Se podrían diferenciar, en una primera aproximación, tres tipos de aguas grises:

- Aguas grises del tipo 1 o aguas de baja carga: ducha, bañera y lavabo.
- Aguas grises del tipo 2 o aguas de media carga: lo anterior, más las procedentes de la lavadora.
- Aguas grises del tipo 3 o aguas de alta carga: lo anterior, más las procedentes del lavavajillas y el fregadero de cocina [6].

### *1.4.1 Diferencias claves entre aguas grises y aguas negras:*

1.- Las aguas grises contienen sólo 1/10 de nitrógeno comparado con las aguas negras. El nitrógeno (como nitrito y nitrato) es uno de los contaminantes más preocupantes que afectan al agua potable. Las aguas grises contienen bastante menos nitrógeno y no es necesario que lleve el mismo proceso de tratamiento que las aguas negras.

2.- Las aguas negras como la fuente más importante de los patógenos humanos. Los organismos que amenazan la salud humana no crecen fuera del cuerpo (a menos que estén incubados) pero son capaces de sobrevivir especialmente en las heces humanas. Separando aguas grises de aguas negras se reducirá dramáticamente el peligro expuesto por estos patógenos si se aliviara a las aguas grises de las heces que los transportan.

3.- El contenido orgánico típico de las aguas grises se descompone mucho más rápido que el contenido típico de las aguas negras. La cantidad de oxígeno requerida para la descomposición del contenido orgánico en aguas grises durante los primeros cinco días constituye el 90% del total o la última demanda de oxígeno requerida para completar la descomposición. El BOD5 de las aguas negras es sólo el 40% del oxígeno requerido. (BOD1 para aguas grises es alrededor del 40% de la última demanda de oxígeno (UOD) y BOD1 para aguas negras es sólo el 8% del UOD). Esto significa que el problema de la descomposición en aguas negras continuará consumiendo oxígeno mucho más allá del punto de desagüe de lo que lo hará las aguas grises.

Así pues las aguas grises y negras son tan diferentes, que parece lógico separarlas -más específicamente, mantener la orina y las heces fuera de las aguas comunes- y tratarlas separadamente por el bien de la protección de la salud y el medio ambiente y con ahorros significativos.

Las aguas grises son específicamente el agua de lavar. Esto es, baño, lavado de platos y el agua de la colada de la ropa -excluyendo el retrete y restos de alimentos. Cuando se utilice apropiadamente, las aguas grises pueden suponer una fuente de gran valor como abonos para la horticultura. Es el mismo fósforo, potasio y nitrógeno que hace a las aguas grises una fuente de contaminación para lagos, ríos y aguas del terreno los que se convierten en excelentes fuentes de nutrición para plantas cuando esta forma particular de las aguas residuales se hacen alcanzables por agua de regadío [7].

#### *1.4.2 ¿Qué distingue las aguas grises de las aguas negras?*

Las fuentes de aguas grises son la cocina, la colada, el cuarto de baño, lavaderos, duchas, etc. Ninguna de estas fuentes arrastra en el agua organismos que puedan contener enfermedades en la misma magnitud que lo pueden hacer las aguas sucias de los retretes, ya que la gran fuente de patógenos viene de las heces. La orina es estéril salvo en circunstancias excepcionales como son las graves infecciones del conducto urinario.

Las aguas negras consisten en grandes cantidades de materia orgánica que ya han sido expuestas a uno de los más eficientes y naturales "tratamiento de plantas": el aparato digestivo del cuerpo humano.

Las aguas negras, por contraste, contienen, además de las heces, celulosa proveniente del papel higiénico y cantidades de nitrógeno (por ejemplo, la urea) de la orina que requieren oxígeno para la nitrificación. Todos estos procesos tienen lugar relativamente lento en un medio con agua.

La más segura y efectiva vía para prevenir los impactos medioambientales negativos de los retretes es mantenerlos fuera de las aguas generales (esto es aguas superficiales y aguas subterráneas) [7].

### **1.5 Contaminantes orgánicos:**

#### *1.5.1 Introducción a los contaminantes orgánicos:*

Las aguas residuales de fuentes domésticas, comerciales, de procesado o procesamiento de alimentos e industriales, contienen una amplia variedad de contaminantes, incluyendo contaminantes orgánicos. Algunos de estos contaminantes, particularmente las sustancias que demandan oxígeno – aceite, grasas y sólidos– se eliminan por los procesos primarios y secundarios de tratamientos de aguas residuales. Otros, como las sales, los metales pesados y los compuestos orgánicos refractarios (resistentes a la degradación) no son eliminados eficazmente.

La disposición o evacuación de aguas residuales tratadas inadecuadamente puede causar problemas severos. Por ejemplo, la evacuación fuera de la costa de estas aguas, que antes era una práctica común de las ciudades costeras, da como resultado la formación de lechos de residuos. Las aguas de albañales municipales contienen típicamente un 0.1 % de sólidos, incluso después del tratamiento y éstos terminan sedimentando en el océano. Esto ocurre porque el agua residual tibia se eleva en el hipolimnion frío y es llevada en una u otra dirección por las mareas o corrientes. No se eleva por encima de la termoclina, sino que se dispersa como una nube de la que los sólidos caen en forma de lluvia hacia el fondo del océano[8].

CONSTITUYENTE	FUENTES POTENCIALES	EFFECTOS EN EL AGUA
<b>Sustancias que demandan oxígeno</b>	Mayormente materiales orgánicos, particularmente heces humanas	Los microorganismos de esta fuente consumen oxígeno disuelto para degradarlas bajando su concentración y disponibilidad para otras especies
<b>Compuestos orgánicos refractarios</b>	Desechos industriales, productos domésticos	Tóxicos para la vida acuática
<b>Virus</b>	Desechos humanos	Causan enfermedades (posible cáncer). Principal disuasivo del reciclado de las aguas residuales
<b>Detergentes</b>	Detergentes domésticos	Estética. Impiden eliminación de grasas y aceites. Tóxicos para la vida acuática
<b>Fosfatos</b>	Detergentes	Nutrientes de algas
<b>Grasas y aceites</b>	Cocina, procesado o procesamiento de alimentos, desechos industriales	Contaminación visual, dañinos para algunas formas de vida acuáticas
<b>Sales</b>	Desechos humanos, ablandadores de agua, desechos industriales	Incrementan la salinidad del agua
<b>Metales pesados</b>	Desechos industriales, laboratorios químicos	Toxicidad
<b>Agentes quelantes</b>	Algunos detergentes, desechos industriales	Solubilización y transporte de metales pesados
<b>Sólidos</b>	Todas las fuentes	Contaminación visual, dañinos para la vida acuática

Tabla 1-1 Constituyentes del agua residual, fuentes y efectos

### 1.5.2 Jabones:

Los jabones son sales de ácidos grasos superiores. La acción de limpieza del jabón es el resultado, en gran medida, de su poder emulsificador y de su capacidad para disminuir la tensión superficial del agua. Este concepto puede entenderse considerando la naturaleza dual del anión de jabón. Un examen de su estructura muestra que el ión estearato consiste en una “cabeza” carboxílica iónica y una larga “cola” de hidrocarburo.

En presencia de aceites, grasas y otros materiales orgánicos insolubles en agua, la tendencia es que la “cola” del anión se disuelve en la materia orgánica, mientras que la “cabeza” permanece en la solución acuosa. Así, el jabón emulsiona o suspende, el material orgánico en el agua. En el proceso, los aniones forman micelas coloidales de jabón.

La desventaja primaria del jabón como agente de limpieza viene de su reacción con los cationes divalentes para formar sales insolubles de ácidos grasos.

Estos sólidos insolubles, normalmente sales de magnesio o calcio, no son nada eficaces como agentes de limpieza. Además, los grumos insolubles forman depósitos desagradables en la ropa y en las máquinas lavadoras. Si se usa el jabón suficiente, todos los cationes divalentes pueden ser eliminados por su reacción con el jabón y el agua que lo contiene en exceso tendrá buenas cualidades de limpieza. Este es normalmente el enfoque usado cuando se emplea jabón con agua no ablandada en la bañera o lavabo, donde pueden tolerarse las sales insolubles del magnesio y calcio. Sin embargo, en aplicaciones como el lavado de ropa, el agua debe ablandarse eliminando el calcio y el magnesio o bien acomplejándolos con sustancias como los polifosfatos.

Aunque la formación de sales insolubles de calcio y magnesio ha dado por el resultado el desuso del jabón como agente de limpieza para la ropa, cubertería y otros materiales, éste tiene distintas ventajas desde el punto de vista ambiental. Tan pronto como el jabón entra en las aguas residuales o en un sistema acuático, generalmente precipita como sales de calcio y magnesio.

Por tanto, cualquier efecto que pudiera tener el jabón en solución se elimina. Con la eventual biodegradación, el jabón es completamente eliminado del medio ambiente. Por consiguiente, aparte de la formación ocasional de espumas indeseables, el jabón no causa ningún problema sustancial de contaminación [8].

### *1.5.3 Detergentes:*

Los detergentes sintéticos tienen buenas propiedades de limpieza y no forman sales insolubles con los iones de la “dureza” como el calcio y el magnesio. Estos detergentes sintéticos tienen la ventaja adicional de ser sales de ácidos relativamente fuertes y, por consiguiente, no precipitan en las aguas ácidas como ácidos insolubles, una característica indeseable de los jabones. El potencial de los detergentes para contaminar el agua es alto debido a su uso extensivo en distintos mercados, tanto de consumidores, como en ámbitos institucionales e industriales. Se consumen anualmente más de cuatrocientos cincuenta millones de kilogramos de detergentes surfactantes en el mercado doméstico de los Estados Unidos y algo más en Europa. La mayor parte de este material, junto con otros ingredientes asociados con las formulaciones de los detergentes, se vierte en las aguas residuales.

El ingrediente clave de los detergentes es el surfactante o agente superficial activo, que actúa haciendo que el agua sea más “húmeda” y mejor agente de limpieza. Los surfactantes se concentran en la interfase del agua con los gases (el aire), los sólidos (la suciedad) y los líquidos inmiscibles (el aceite).

Actúan así debido a su estructura anfifílica lo que significa que una parte de la molécula es un grupo polar o iónico (la cabeza) con una afinidad fuerte por el agua y la otra parte es un grupo hidrocarburo (la cola) con aversión por el agua.

Hasta los primeros años de la década de los sesenta del siglo XX, el SAB (sulfonato de alquilbenceno), era el surfactante más común usado en las formulaciones de detergentes. Sin embargo, adolece de la desventaja de biodegradarse muy lentamente, debido a su estructura en cadena ramificada. Una manifestación objetable de los detergentes no biodegradables lo representó la “capa” de espuma que comenzó a aparecer en los vasos de agua potable en las áreas donde el agua residual se reciclaba a través del suministro doméstico de alcantarillado y en las plantas de tratamiento de las aguas residuales, informándose por lo menos de una muerte, cuando un individuo cayó en un lecho de espuma en una planta de lodos activados quedaba asfixiado por una capa de espuma.

Entre los otros efectos indeseables de los detergentes persistentes en los procesos de tratamiento de aguas residuales que los llevan están la disminución de la tensión superficial del agua, la defloculación de coloides; la flotación de sólidos; la emulsificación de grasas y aceites y la destrucción de bacterias útiles. Por consiguiente el SAB está siendo reemplazado por un surfactante biodegradable conocido como alquilsulfonato lineal (ASL).

En el caso de los EEUU, desde que el ASL ha reemplazado al SAB en los detergentes, la toxicidad para los alevines o pececillos ha disminuido grandemente y los niveles de agentes con actividad superficial encontrados en el agua han disminuido notablemente.

Desafortunadamente, en países como México, las empresas transnacionales que todavía conservan plantas productoras de SAB en sus países de origen, exportan este producto por terceros países y lo siguen manteniendo en la formulación de los detergentes en el mercado contaminando los cuerpos o reservorios de agua de estos países.

Algunos surfactantes de detergentes son de tipo no iónico. Uno que ha demostrado ser problemático consiste de polietoxilatos de alquilfenol. Estos son muy útiles como detergentes, agentes dispersantes, emulsificadores, solubilizadores y agentes humectantes.

Con un uso anual estimado, solo en los EEUU, de ciento setenta millones de kg, estas sustancias y sus productos de degradación, en los que las cadenas de polietoxilato se van acortando por la hidrólisis mediada microbianamente, tienden a sobrevivir el tratamiento biológico de las aguas residuales, gran parte del cual es vertido a las tierras agrícolas.

Se piensa que estos productos son xenoestrógenos (imitadores de las hormonas de estrógeno) y su potencial entrada en la cadena alimenticia desde los suelos tratados con lodo es preocupante. Debido a ello se han restringido severamente los usos de estos compuestos en algunos países europeos [8].

#### *1.5.4 Productos farmacéuticos y sus productos de degradación:*

Las aguas residuales reciben compuestos farmacéuticos y sus productos de degradación parcial, a consecuencia de la ingestión humana y al ser descartados cuando caducan. Las cantidades de estas sustancias en las aguas residuales en los países desarrollados pueden alcanzar del orden de cien toneladas métricas por año. Se han observado niveles de productos farmacéuticos comunes en el agua de ríos.

Aunque estos niveles son valores relativamente bajos, representan una preocupación debido a la actividad biológica inherente a los productos farmacéuticos, que todavía no ha sido estudiada y evaluada.

#### *1.5.5 Bactericidas:*

Los bactericidas usados en productos de limpieza y de consumo pueden encontrarse en el agua. De estos, uno de los más comunes es el triclosán, ampliamente usado en los jabones antibacterianos así como en otros artículos de consumo como champú, desodorantes, lociones, pasta dentífrica, ropa deportiva, zapatos, alfombras e, incluso, los contenedores de basura.

### *1.5.6 Contaminantes orgánicos biorrefractarios:*

Globalmente se producen millones de toneladas de compuestos orgánicos cada año, apareciendo cantidades significativas de varios miles de estos compuestos como contaminantes del agua.

La mayoría de ellos, particularmente los menos biodegradables, son sustancias a las que los organismos vivos no han sido expuestos hasta años recientes. Frecuentemente, sus efectos en los organismos no son conocidos, particularmente en lo que concierne a exposiciones a largo plazo a niveles bajos. El potencial de los productos orgánicos sintéticos para causar daño genético, cáncer u otros efectos dañinos es inconfortablemente alto. Por el lado positivo, los plaguicidas orgánicos posibilitan un nivel de productividad agrícola sin la cual millones de personas padecerían de hambre. Los productos orgánicos sintéticos están ocupando cada vez más el lugar de los productos naturales (cuyos suministros son escasos). Es decir, los productos químicos orgánicos son esenciales para el funcionamiento de la sociedad moderna. Sin embargo, debido a su peligro potencial, la adquisición de conocimientos sobre su química ambiental debe tener una alta prioridad.

### *1.5.7 Metales:*

El papel de los metales pesados en los organismos está condicionado por su biodisponibilidad y abundancia en la naturaleza. Ningún organismo vivo puede desarrollarse y sobrevivir sin la participación de iones metálicos. Así, un elemento se considera esencial cuando:

- Aparece en todos los tejidos de una familia y las concentraciones entre especies varían en un rango determinado.
- Los síntomas de su deficiencia aparecen cuando se elimina y desaparecen cuando se incorpora de nuevo al tejido.

Es bien conocido que iones como sodio, potasio, magnesio y calcio son esenciales, pero al menos también seis metales (Mn, Fe, Co, Cu, Zn y Mo) son esenciales para el crecimiento, desarrollo y reproducción, aunque en cantidades menores que los anteriores. Sin embargo, elementos traza esenciales, como el Zn, pueden llegar a ser tóxicos cuando los aportes son excesivos.

La toxicidad de un elemento traza en particular depende de varios factores, como la forma química en la que se encuentre, la presencia de otros metales, las condiciones del organismo receptor, etc.

Uno de los casos más conocidos de acumulación de elementos tóxicos en la cadena alimenticia, a partir de sedimentos contaminados, ocurrió en los años 50 en la Bahía de Minamata (Japón) en donde intoxicaciones masivas por contaminación de mercurio ocasionaron más de mil muertes. En este caso, los sedimentos de fondo que acumularon progresivamente los efluentes de una planta química, tuvieron un papel esencial en la incorporación de este elemento a la cadena trófica.

También en Japón, durante la Segunda Guerra Mundial, la intensificación en las actividades de explotación de una mina de zinc y plomo provocó un envenenamiento con cadmio, que suele encontrarse naturalmente asociado al zinc. Los efluentes de la mina conducidos al río Jintsu produjeron un enriquecimiento en cadmio de los sedimentos del curso del río durante al menos 30 años.



Este elemento, que llegó al hombre mediante el consumo de las plantaciones locales de arroz, provocó la aparición de la enfermedad denominada “itai-itai” caracterizada por deformaciones del esqueleto. Por último, el que se ha considerado el caso más grande de envenenamiento de la historia de la humanidad ocurrió en Bangladesh, en el que aproximadamente un tercio de la población, unos 250 millones de personas, fueron lentamente envenenadas por agua que contenía elevados niveles de arsénico. Los expertos de la Organización Mundial de la Salud determinaron que el arsénico disuelto de los sedimentos a través de procesos bioquímicos contaminó el agua subterránea y por tanto los ríos.

#### *Fuentes de contaminación por metales*

##### i) Procesos geológicos. Mineralización.

El mayor problema de este tipo de contaminación proviene de la dificultad de distinguir el enriquecimiento natural de aquel favorecido por actividades antrópicas. Aun así existen ejemplos bien conocidos, como el mencionado caso de contaminación por arsénico en Bangladesh o la problemática del selenio en el valle de San Joaquín (California).

##### ii) Efluentes de la minería.

La exposición de la piritita y otros sulfuros al oxígeno atmosférico conduce a la acidificación del medio, mediante la reacción de oxidación de los sulfuros a sulfatos, y la movilización del  $\text{Fe}^{2+}$  y otros metales, de manera que se favorece la dispersión de estos metales en las condiciones ácidas creadas por los efluentes de mina.

##### iii) Efluentes industriales.

Existe un gran número de efluentes industriales que pueden conducir al enriquecimiento en metales traza. El caso de la Bahía de Minamata, en el que se produjo la acumulación de metil-mercurio en sedimentos es uno de los más conocidos. Además pueden liberarse al medio ambiente otros metales en la fabricación de fertilizantes, productos textiles o refinados de petróleo.

##### iv) Efluentes domésticos.

Se han observado altos niveles de Cu, Pb, Zn y, en menor medida, Cd, debido a la corrosión de los sistemas de abastecimiento de agua. También los detergentes pueden contener cantidades traza de otros metales, como Fe, Mn, Cr y otros. También se ha prestado especial atención al arrastre de partículas por el efecto de la lluvia en áreas urbanizadas.

##### v) Aportes procedentes de áreas rurales.

Los cultivos agrícolas son tratados con frecuencia con fertilizantes para mejorar su rendimiento. Estos tratamientos suelen incluir pequeñas cantidades de metales pesados. Los lodos de depuradoras, utilizados frecuentemente como fuente de nutrientes, pueden contener elementos con propiedades tóxicas. La erosión que afecta especialmente a los suelos de cultivo arrastra los contaminantes hasta los ríos, acumulándose en los sedimentos [9].

## 1.6 EDAR

### 1.6.1 Objetivo de una EDAR

Una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) tiene el objetivo de tratar las aguas usadas y contaminadas por el ser humano para que puedan ser vertidas al medio natural.

### 1.6.2 Fases de depuración

En una EDAR, de manera tradicional, se pueden distinguir las siguientes fases de depuración:

#### a) Pretratamiento:

El pretratamiento es un conjunto de tratamientos físicos, que separan la contaminación que está flotando o en suspensión en las aguas. Se realiza para evitar que esas partículas dañen los equipos posteriores. Se distingue entre:

- Desbaste: eliminación de elementos insolubles de cierto tamaño mediante una serie de rejillas. En este proceso se suelen eliminar ramas, botellas, trapos, entre otros.

- Desarenado: eliminación de partículas más pesadas que el agua, que no se hayan quedado retenidas en el desbaste, sobre todo arenas pero también otras sustancias como cáscaras, semillas, etc.

- Desengrasado: eliminación de grasas, aceites, espumas y materias flotantes más ligeras que el agua para evitar interferencias en procesos posteriores.

#### a) Decantación primaria

En esta fase se separa la mayor parte de los sólidos sedimentables (los cuales se depositan en el fondo) y del material flotante (se quedan en la superficie), que no pudieron ser eliminados en procesos anteriores. En esta etapa pueden emplearse un tratamiento físico-químico que actúe como floculante favoreciendo la unión de las partículas y su retirada.

#### b) Tratamiento biológico

El agua es llevada a reactores biológicos donde la materia orgánica presente será degradada por acción de una serie de microorganismos, denominado fango biológico. Existen muchos tipos de tratamientos según las características del agua tratada.

#### c) Decantación secundaria

Finalizada la degradación de la materia orgánica, el agua pasa a un decantador donde el fango biológico del proceso anterior se separa del agua depurada.

Estos fangos pasarán a la línea de fangos, donde serán tratados y acondicionados para su posterior utilización o depósito en vertedero. El agua se vierte en ríos o mares o pasa a un tratamiento terciario.

d) Tratamiento terciario

Son tratamientos destinados a mejorar o afinar las características del agua con la finalidad de reutilizarlas. El proceso consiste en higienizar (eliminar microorganismos) y adecuar el agua para un determinado uso. Existen muchos tratamientos diferentes dependiendo del uso o la legislación vigente sobre características del vertido.

Las EDAR permiten garantizar la vuelta del agua a su ciclo natural en unas condiciones similares a las naturales y generar así el mínimo impacto. El principal problema es que en muchos casos no existen EDAR y se vierte directamente el medio natural.

### 1.6.3 Tratamiento de aguas residuales urbanas:

Las aguas residuales urbanas, aparte de las aguas domésticas y de lluvia, pueden contener las aguas residuales generadas por las industrias de la zona.

El vertido de las aguas industriales elevaría la concentración de compuestos orgánicos recalcitrantes y generaría problemas de tratamiento con los sistemas convencionales. Así, en la mayoría de los países se están desarrollando programas para reducir las concentraciones de contaminantes vertidos al alcantarillado por la industria y de otras aguas no domésticas. Se trata de eliminar la interferencia de contaminantes no deseados en la operación de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) y evitar que los contaminantes puedan pasar a través del sistema de tratamiento sin ser modificados o degradados. De esta manera también se mejoran las posibilidades de reutilización del agua y de los lodos generados, pues ninguno de estos productores será portador de sustancias indeseables.

En un proceso del que se tiene tanta experiencia práctica como este, a corto plazo no se vislumbran modificaciones importantes; la mayor modificación está en la selección de las aguas a tratar, evitando la presencia de compuestos que generan problemas en la eficacia del proceso.

Es éste, por tanto, un proceso asentado y donde quedan fenómenos por conocer en profundidad, como es el caso de formación de *bulking* filamentoso (proliferación de microorganismos filamentosos tipo *sphaerotilus*, *nocardia*, etc., que impiden el clarificado de las aguas tratadas). Se espera que el tratamiento previo de las aguas industriales que vierten a la EDAR disminuya estos episodios de *bulking* que tanto preocupan a los gestores de las EDAR.

Las primeras operaciones a realizar en una EDAR corresponden al tratamiento primario, por el cual se eliminan los sólidos, por una parte, y las grasas y aceites, por otra. Las aguas pasan posteriormente al tratamiento secundario o biológico. En este proceso los microorganismos quimioorganotrofos (organismos que usan la materia orgánica como fuente de energía para su mantenimiento y reproducción) eliminan la materia orgánica del agua residual con un proceso en presencia de oxígeno, proceso aerobio. El oxígeno proporciona una eficiente producción de energía para las células y la posibilidad de una completa oxidación del sustrato [10].

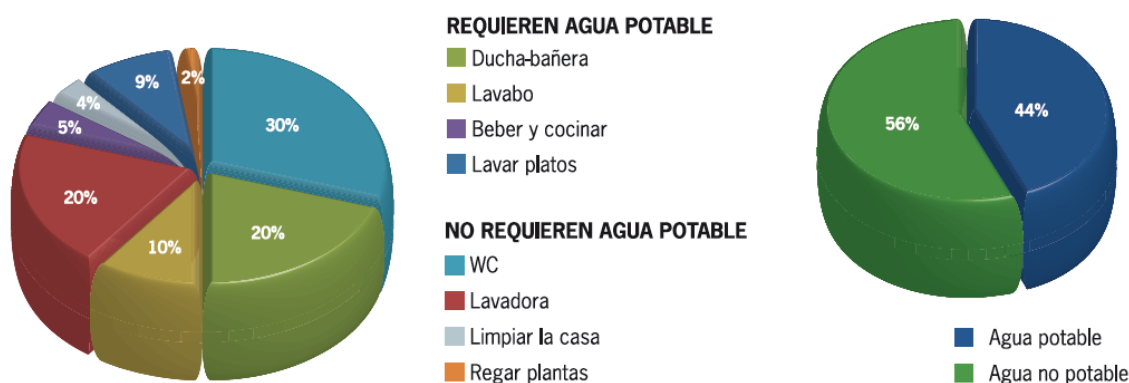


Figura 1-1 Análisis global de la calidad del agua necesaria en función de los usos

## 1.7 Antecedentes relacionados y motivación

### 1.7.1 Citas destacadas:

«No acabaremos con el SIDA, la tuberculosis, la malaria ni ninguna de las demás enfermedades infecciosas que asolan al mundo en desarrollo hasta tanto no hayamos ganado también la batalla para asegurar la disponibilidad de agua potable, saneamiento y asistencia sanitaria básicas.»

Kofi Annan, Ex Secretario General de las Naciones Unidas.

### 1.7.2 Convenio y protocolo de Londres

El Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertido de desechos y otras materias, 1972, Convenio de Londres en su forma abreviada, es uno de los primeros convenios mundiales dedicados a proteger el medio marino de las actividades de los seres humanos y está en vigor desde 1975. Su objetivo es el fomento del control efectivo de todas las fuentes de contaminación del mar y la adopción de todas las medidas posibles para prevenir la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias. En la actualidad son Partes en el Convenio 87 Estados.

Con el fin de seguir modernizando el Convenio y, en su momento, sustituirlo, en 1996 se adoptó el Protocolo de Londres, que prohíbe todo vertimiento, con la excepción de desechos que posiblemente resulten aceptables en la denominada "lista de vertidos permitidos". El Protocolo entró en vigor el 24 de marzo de 2006 y en la actualidad lo integran 45 Partes.

#### 1.7.2.1 ¿Cuáles son el propósito y el objetivo del Convenio y el protocolo de Londres?

El objetivo del Convenio y el Protocolo de Londres es el fomento del control efectivo de todas las fuentes de contaminación del mar. Las Partes Contratantes tomarán medidas efectivas para prevenir la contaminación del medio marino causada por el vertimiento en el mar.

El propósito del Convenio de Londres radica en el control de todas las fuentes de contaminación del mar y en la prevención de la contaminación del mar mediante la reglamentación del vertimiento en el mar de materiales de desecho. Se aplica un planteamiento denominado "lista negra y gris" a los desechos cuyo vertimiento en el mar puede considerarse en función del peligro que presentan para el medio ambiente. El vertimiento de los desechos que figuran en la lista negra está prohibido.

Para el vertimiento de los materiales enumerados en la lista gris se exige un permiso especial expedido bajo un estricto control por una autoridad nacional designada y a condición de que se cumplan ciertos requisitos. Todos los demás materiales y sustancias pueden verse tras haberse expedido un permiso de carácter general.

El propósito del Protocolo es similar al del Convenio, pero el Protocolo es más restrictivo: se ha incluido un "planteamiento preventivo" como obligación general y se ha adoptado un procedimiento correspondiente a una "lista de vertidos permitidos" cuya aplicación implica que todo vertimiento está prohibido a menos que se permita explícitamente, la incineración de desechos en el mar está prohibida y la exportación de desechos para su vertimiento o incineración en el mar está prohibida. Se han incluido procedimientos para un cumplimiento de mayor ámbito y disposiciones sobre asistencia técnica, mientras que las Partes Contratantes nuevas pueden acogerse a un periodo provisional para introducir gradualmente el cumplimiento del Protocolo a lo largo de cinco años, a condición de que se satisfagan ciertas condiciones [11].

#### 1.7.2.2 Preparación y lucha contra la contaminación

Las iniciativas adecuadas de prevención pueden contribuir considerablemente a reducir los riesgos de contaminación procedente de los buques. No obstante, a pesar de hacer todo lo posible, inevitablemente se producirán derrames. Cuando ello ocurre, es necesario asegurarse de que se cuenta con medidas eficaces para la preparación que garanticen una respuesta oportuna y coordinada que limite las consecuencias adversas de los sucesos de contaminación relacionados con hidrocarburos y sustancias nocivas y potencialmente peligrosas (SNPP).

El Convenio internacional sobre cooperación, preparación y lucha contra la contaminación por hidrocarburos, 1990 (Convenio de cooperación) es el instrumento internacional que establece un marco destinado a facilitar la cooperación internacional y la asistencia mutua con miras a la preparación y respuesta frente a sucesos importantes de contaminación por hidrocarburos y prescribe que los Estados planifiquen y se preparen mediante la elaboración de sistemas nacionales para la lucha contra la contaminación en sus respectivos países y mediante el mantenimiento de capacidad y recursos adecuados para hacer frente a las emergencias debidas a la contaminación por hidrocarburos.

El Protocolo sobre cooperación, preparación y lucha contra los sucesos de contaminación por sustancias nocivas y potencialmente peligrosas, 2000 (Protocolo de cooperación-SNPP) amplía este marco normativo para abordar los sucesos de contaminación relacionados con sustancias nocivas y potencialmente peligrosas, a saber, productos químicos.

Los Estados Partes en el Convenio de cooperación y el Protocolo de cooperación-SNPP están obligados a establecer un sistema nacional para responder a los sucesos de contaminación por hidrocarburos y SNPP que incluya una autoridad nacional designada, un punto nacional de contacto operativo y un plan nacional para contingencias. Todo ello ha de estar apoyado por un nivel mínimo en cuanto al equipo de respuesta, los planes de comunicaciones y las actividades de formación y los ejercicios periódicos.

Además de la prescripción relativa a la implantación de sistemas nacionales de respuesta, ambos instrumentos también fomentan la cooperación entre las Partes mediante el establecimiento de acuerdos bilaterales y multilaterales para incrementar la capacidad de respuesta a escala nacional, cuando sea necesario. Lo que es más importante: el Convenio de cooperación y el Protocolo de cooperación-SNPP establecen un mecanismo para que las Partes soliciten asistencia de cualquier otro Estado Parte, cuando hagan frente a un suceso importante de contaminación.

Existen diversas ventajas importantes para aquellos Estados que se adhieran a dichos instrumentos, en particular:

- Acceso a una plataforma internacional para la cooperación y asistencia mutua en la preparación y lucha contra sucesos importantes de contaminación por hidrocarburos y SNPP y a un mecanismo para el establecimiento de acuerdos de cooperación con sus otros Estados Parte.
- Un medio para acceder de manera urgente a la asistencia técnica y los recursos de respuesta pertinentes en caso de que se produzca un suceso de derrame de hidrocarburos o SNPP.
- Un marco para la creación de capacidad nacional y regional con miras a la preparación y lucha contra sucesos de derrames de hidrocarburos o SNPP.
- Participación en una red de intercambio de información nueva sobre investigación y desarrollo, mejores prácticas y experiencias de carácter práctico en relación con la lucha contra derrames de hidrocarburos y SNPP.
- Acceso a formación y apoyo para la creación de estructuras y legislación básicas en la preparación y lucha contra derrames, a escala nacional y regional, a través del Programa integrado de cooperación técnica de la OMI.

### 1.7.2.3 Lucha contra sucesos de contaminación del mar

La lucha contra sucesos de contaminación del mar es un asunto sumamente técnico que requiere conocimientos especializados y experiencia técnica así como el equipo y las herramientas especializadas aptas para la labor.

El Convenio de cooperación y el Protocolo de cooperación-SNPP establecieron conjuntamente el marco normativo y las prescripciones internacionales para la preparación y lucha contra los sucesos de contaminación por hidrocarburos y SNPP, si bien son necesarias más orientaciones técnicas de carácter práctico para quienes se encargan de la creación de sistemas nacionales robustos de respuesta para la lucha contra los sucesos de contaminación.

Habida cuenta de dichas prescripciones y reconociendo que existen diversos grados de conocimiento y capacidad entre los Estados Parte en el Convenio y el Protocolo, la OMI ha elaborado una amplia variedad de instrumentos y orientaciones prácticas con miras a asistir a los países a desarrollar su capacidad de respuesta.

Gran parte de este material de orientación fue elaborado a través del Grupo técnico sobre el Convenio de cooperación y el Protocolo de cooperación-SNPP, un antiguo órgano auxiliar del Comité de protección del medio marino de la OMI, uno de los principales órganos técnicos de la Organización. Dicho Grupo reunió a expertos en la lucha contra la contaminación del mar procedentes de los Estados Miembros y las organizaciones observadoras de todo el mundo a fin de compartir sus experiencias y conclusiones y determinar las mejores prácticas y las tecnologías y avances nuevos en la preparación y lucha contra los sucesos de contaminación por hidrocarburos y SNPP en el mar.

El Grupo técnico celebró su última reunión en 2014, tras haber creado una diversidad de recursos para asistir a los países en todos los aspectos relativos a la preparación y lucha contra los sucesos de contaminación. Entre ellos figuran la elaboración de cursos modelo de formación, manuales y documentos de orientación, circulares de la OMI y otros recursos y material pertinentes. En la actualidad, esta labor continúa a través del Subcomité de prevención y lucha contra la contaminación (Subcomité PPR).

Los numerosos recursos elaborados a través de la OMI se utilizan sistemáticamente en la implantación de las actividades ejecutadas a través del Programa integrado de cooperación técnica (PICT) de la Organización.



**Figura 1-2 Emblema de la OMI**

Los Estados pueden pedir asistencia de la OMI, a través del PICT, para crear capacidad de lucha contra la contaminación e implantar lo dispuesto en el Convenio de cooperación 1990 y el Protocolo de cooperación-SNPP [12].

### *1.7.3 Las Fuerzas Armadas con el Medioambiente*

Las Fuerzas Armadas no han quedado en un segundo plano. La conciencia medioambiental se haya muy difundida entre sus miembros, en muchos aspectos más que el resto de la población española:

*“El Ministerio de Defensa y las organizaciones militares, como parte importante de la sociedad, colaboran de forma activa aportando su grano de arena en la prevención medioambiental, así como en los estudios y actividades que puedan suponer mejorar las condiciones de salud de las poblaciones. En muchos aspectos, la aportación de la Defensa es muy superior a las de otros departamentos.”*

(CESEDEN, 2007) [13].

## 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Estudio de la eliminación de partículas en suspensión en agua:

La optimización del proceso de coagulación-floculación es un proceso que se ha estudiado con anterioridad para aguas de vertidos o aguas con alto contenido de sólidos en suspensión (González-Aller Joly, 2015). La utilización de coagulantes alternativos, de baja toxicidad, ofreció resultados moderadamente satisfactorios, aunque se comprobó que turbidez era un parámetro crítico que afectaba al paso de luz de las aguas tratadas y, por lo tanto, a su calidad; la absorbancia medida a determinadas longitudes de onda permitió determinar la eliminación de grupos de contaminantes específicos y, la elección del mejor coagulante permitió reducir la dosis y, por lo tanto, el coste y el coagulante menos tóxico.

#### 2.1.1 Turbidez

La turbidez es la dificultad del agua, para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc. Además interfiere con la mayoría de procesos a que se pueda destinar el agua. La turbidez nos da una noción de la apariencia del agua y sirve para tener una idea acerca de la eficiencia de su tratamiento. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua.

La turbidez puede impactar los ecosistemas acuáticos al:

- Afectar la fotosíntesis (limita el paso de la luz solar),
- Respiración y la reproducción de la vida acuática.

##### 2.1.1.1 Fuentes de luz.

Los turbidímetros están equipados con fuentes o lámparas de emisión de radiación diferentes en función de la Normativa.



La reflexión de la luz es función del tamaño y de las formas de las partículas. Cuánto mayores son las partículas en suspensión del agua mayor será la reflexión de la luz incidente y por lo tanto la luz transmitida será menor, lo cual incide negativamente en la calidad del agua

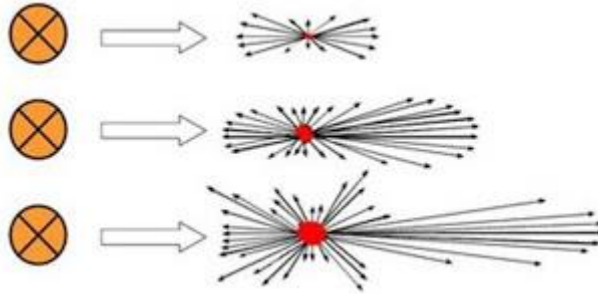


Figura 2-1 Reflexión de la luz

#### 2.1.1.2 ¿Cuáles son las causas de la turbidez?

Si la turbidez del agua es alta, habrá muchas partículas suspendidas en ella. Estas partículas sólidas bloquearán la luz solar y evitarán que las plantas acuáticas obtengan la luz solar que necesitan para la fotosíntesis. Las plantas producirán menos oxígeno y con ello bajarán los niveles de Oxígeno Disuelto. Las plantas morirán más fácilmente y serán descompuestas por las bacterias en el agua, lo que reducirá los niveles de Oxígeno Disuelto aún más.

Las partículas suspendidas en el agua también absorberán calor adicional de la luz solar lo cual ocasionará que el agua sea más caliente. El agua caliente no es capaz de guardar tanto oxígeno como el agua fría, así que los niveles de Oxígeno Disuelto bajarán, especialmente cerca de la superficie.

Las partículas suspendidas también son destructivas para muchos organismos acuáticos tales como los macro invertebrados que se encuentran en el agua. Pueden obstruir las branquias de los peces e interferir con su habilidad para encontrar alimento. También pueden enterrar las criaturas que viven en el fondo y los huevos. Las partículas suspendidas pueden transportar contaminantes en el agua.

Hay varios parámetros que influyen en la turbidez del agua. Algunos de estos son:

- Presencia de fitoplancton, y / o crecimiento de las algas;
- Presencia de sedimentos procedentes de la erosión;
- Presencia de sedimentos re-suspendidos del fondo (frecuentemente revueltos por peces que se alimentan por el fondo, como la carpa);
- Descarga de efluentes, como por ejemplo esorrentías urbanas, mezclados en el agua que se analiza;
- Factores humanos;
- La erosión debido a la eliminación de la vegetación ribereña, a los cambios en la morfología de la corriente, o a los modelos del flujo de la corriente;
- Carga excesiva de nutrientes y crecimiento de algas

2.1.1.3 ¿Cuáles son las consecuencias de una alta turbidez?

Las partículas suspendidas absorben calor de la luz del sol, haciendo que las aguas turbias se vuelvan más calientes, y así reduciendo la concentración de oxígeno en el agua (el oxígeno se disuelve mejor en el agua más fría). Además algunos organismos no pueden sobrevivir en agua más caliente.

Las partículas en suspensión dispersan la luz, de esta forma decreciendo la actividad fotosintética en plantas y algas, que contribuye a bajar la concentración de oxígeno más aún. Como consecuencia de la sedimentación de las partículas en el fondo, los lagos poco profundos se colmatan más rápido, los huevos de peces y las larvas de los insectos son cubiertas y sofocadas, las agallas se tupen o dañan...

El principal impacto de una alta turbidez es meramente estético: a nadie le gusta el aspecto del agua sucia.

Pero además, es esencial eliminar la turbidez para desinfectar efectivamente el agua que desea ser bebida. Esto añade costes extra para el tratamiento de las aguas superficiales. Las partículas suspendidas también ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos orgánicos tóxicos y pesticidas.

	Duchas y lavabos	Lavadero	Cocina	Mixta
Turbidez (NTU)	44-375	50-444	298	29-375

**Tabla 2-1 Rangos de contaminación de diferentes aguas grises**

2.1.1.4 ¿Cuál es la máxima turbidez permitida en el agua para consumo humano?

Según la OMS, la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU. Los sistemas filtrantes, de las plantas de tratamiento del agua para consumo humano deben asegurar que la turbidez no supere 1 NTU.

La calidad del agua potable es una cuestión que preocupa en países de todo el mundo, en desarrollo y desarrollados, por su repercusión en la salud de la población. Son factores de riesgo los agentes infecciosos, los productos químicos tóxicos y la contaminación radiológica. La experiencia pone de manifiesto el valor de los enfoques de gestión preventivos que abarcan desde los recursos hídricos al consumidor.

La OMS elabora normas internacionales relativas a la calidad del agua y la salud de las personas en forma de guías en las que se basan reglamentos y normas de países de todo el mundo, en desarrollo y desarrollados [14].

### 2.1.2 Directrices de calidad para el reciclaje de agua

Categorías		Objetivos de tratamiento: turbidez	Aplicaciones
<b>Estanques, lagunas, usos recreativos</b>	Uso sin restricción	$\leq 2$ NTU	Fuentes ornamentales, estanques artificiales de recreo, lagos y lagunas para nadar.
	Uso con restricción	$\leq 30$ NTU	Los lagos y estanques de recreo sin contacto con el cuerpo.
<b>Usos en servicios urbanos y riego agrícola</b>	Uso sin restricción	$\leq 2$ NTU	Descargas de los inodoros, lavadoras, aire acondicionado, agua de procesos, riego de jardines, protección contra incendios, construcción, riego por superficie de cultivos alimenticios y vegetales y lavado de calles.
	Uso con restricción	$\leq 40$ NTU	Riego de jardines donde el acceso del público es poco frecuente y controlado, riego sub superficial de los cultivos no alimentarios y verduras.

Tabla 2-2 Directrices de calidad en función de la turbidez para aguas grises reciclables [15].

Parámetro	Residencial	Servicios Urbanos
<b>Turbidez (NTU)</b>	< 2	< 10

Tabla 2-3 Valor de turbidez para uso reciclado [16].

### 2.1.3 Absorbancia

El concepto de absorbancia se emplea en el terreno de la física y de la química. Se trata de la medida que refleja cómo se atenúa la radiación cuando atraviesa un elemento. La absorbancia puede expresarse mediante un logaritmo que surge a partir del vínculo entre la intensidad que sale y la intensidad que ingresa a la sustancia.

También mencionada como absorbencia (el acto de absorber: atraer algo para incorporarlo o consumirlo), la absorbencia depende de la concentración y el grosor de la muestra. Esta relación proporcional diferencia a esta medida de la transmisión, cuya magnitud refleja la cantidad de energía que pasa por un elemento en una cierta unidad de tiempo.

Cuando la absorbencia se calcula por unidad de longitud, por otra parte, se utiliza la idea de densidad óptica. Esta magnitud alude específicamente al nivel que absorbe un elemento óptico de acuerdo a la unidad de distancia.

La espectrofotometría indica que la absorbencia se calcula dividiendo la intensidad de la luz que atravesó una muestra por la intensidad de la luz que existía antes de ingresar a dicha muestra. En otras palabras: se relaciona la intensidad que sale o se transmite con la intensidad que ingresa o incidente.

La absorbencia, en definitiva, cuantifica el fenómeno que ocurre con la radiación lumínica y las sustancias. Al incidir la luz sobre la muestra, una parte de la radiación es absorbida por la sustancia. La luz que no se absorbe atraviesa la muestra: cuando es captada por un receptor situado al otro lado, es posible realizar la medición [17].

### 2.1.4 Coagulación y floculación

Las impurezas del agua varían en tamaño aproximadamente en 6 órdenes de magnitud, desde unos pocos Angstroms, para sustancias solubles, hasta unos cientos de micras, para materia en suspensión. La eliminación de una gran parte de estas impurezas se elimina por sedimentación, es decir, la separación se hace por gravedad. Sin embargo, cuando el tamaño de la partícula es excesivamente pequeño, la sedimentación no es una técnica válida y es preciso buscar métodos alternativos.

Uno de ellos es la técnica de coagulación-floculación, consistente en provocar la unión de las partículas en agregados de mayor tamaño –floculos- mediante la adición de ciertos compuestos químicos –floculantes- y en su posterior separación por sedimentación.

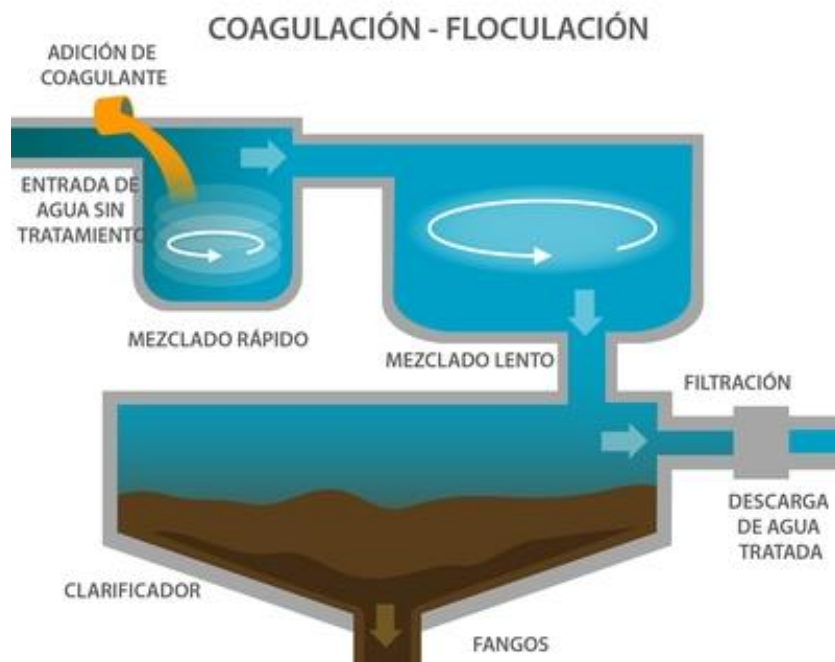


Figura 2-2 Proceso secuencial de la coagulación- floculación [18].

La finalidad de este proceso es la eliminación de partículas coloidales (entre 10 y 2000Å) presentes en el agua, las cuales no se pueden eliminar por sedimentación, debido a su pequeño tamaño y a que están estabilizadas por presentar cargas electrostáticas superficiales –adsorción de iones- que originan fuerzas de repulsión entre ellas e impiden su aglomeración.

La coagulación es el proceso de desestabilización y posterior agregación de partículas en suspensión coloidal presentes en el agua para potenciar la etapa de decantación.

La desestabilización se consigue neutralizando las cargas eléctricas, con las que dejan de actuar las fuerzas de repulsión, el potencial entre los coloides y la solución se anula permitiendo que los coloides puedan agregarse debido a la atracción entre masas, se cambian las propiedades de los elementos insolubles como procedimiento previo a la decantación.

La coagulación tenderá a agrupar partículas pequeñas en otras mayores y más pesadas, denominadas flóculos, y el sistema será inestable debido a esta agregación de partículas. Los factores más importantes que intervienen en este proceso son el tipo y cantidad de coagulante, el pH del agua, el período de coagulación, la temperatura del agua y la agitación.

El proceso de floculación precede al de coagulación. La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas, primero en microfloculos, y después en flóculos más grandes que tienden a depositarse en los decantadores, en el fondo de los recipientes construidos para ese fin. Durante el proceso se intenta conseguir flóculos lo más pesados y grandes posibles para facilitar su sedimentación y eliminación.

Pueden diferenciarse las funciones de los dos procesos resumiendo que la coagulación anula las fuerzas repulsivas entre las partículas coloidales iniciando la formación de microfloculos, mientras que la floculación engloba estos microfloculos aumentando su tamaño y densidad de modo que sedimenten de forma más rápida y fácil [19].

#### 2.1.4.1 Teoría de separación de partículas en suspensión

Los procesos de coagulación-floculación junto a la separación de partículas (sedimentación y filtración) se pueden englobar en los procesos de clarificación, que tienen como objetivo la eliminación de sustancias en suspensión, separación de partículas y la supresión de la flora microbiana.

Los coloides son partículas de muy bajo diámetro que son responsables de la turbidez o del color del agua superficial. Debido a su muy baja sedimentación, la mejor manera de eliminarlos es por los procesos de coagulación-floculación. Son sistemas físico-químicos estables formados por dos fases; una continua (fluidos) y otra dispersa (partículas).

La teoría de la doble capa eléctrica, es la teoría de la estabilidad de los coloides y estudia cómo se modela la superficie intermedia entre la partícula coloidal y el seno del líquido. La primera teoría parte de la base de que las partículas superficiales de la partícula coloidal atraen iones de carga opuesta, estableciéndose un estado de carga neutra entre la partícula y su alrededor más cercano.

El continuo movimiento de las partículas de agua en esta zona de carga neutra crea una capa difusa de cargas eléctricas que se extienden en el agua. Aparecen así diferentes zonas; la capa superficial del coloide con carga negativa, la capa de Stern de cargas positivas y fuertemente atraídas por la superficie coloidal y la capa difusa de Gouy-Chapman, constituida por el resto de iones móviles hasta la superficie neutra del líquido.

Por consiguiente, la partícula coloidal tiene un cierto potencial eléctrico respecto a la solución en la que se halla que impide la aproximación de las partículas a una distancia suficiente como para que las fuerzas atractivas de Van der Waals puedan agrupar los coloides. Aparece entonces una repulsión eléctrica entre cargas de igual signo. Para conseguir la formación de agregados de partículas habrá que reducir el potencial eléctrico rompiendo la estabilidad de los coloides. Habrá que tener en cuenta, por lo tanto, que las distintas moléculas se ven afectadas por las fuerzas de Van der Waals, una fuerza cohesiva atómica, resultante de la atracción de todos los átomos. Por otro lado, también estará presente la fuerza gravitacional, que solo decantará algunas partículas presentes en el agua debido a su tamaño, superficie específica y peso [20].

### 2.1.5 Ácido Cítrico (E 330)

El ácido cítrico es un compuesto natural que se encuentra en todos los seres vivos, pero está particularmente concentrado en las frutas cítricas. Primero fue producido a partir del jugo de limón, en Italia, allá por 1860, pero con un rendimiento muy bajo: se necesitaban unas 35 toneladas de limones para obtener una tonelada de ácido cítrico. Tiempo después se descubrió que había ciertos hongos microscópicos capaces de acumular ácido cítrico, lo que permitió su producción en gran escala. Efectivamente, desde el final de la Primera Guerra Mundial, y hasta nuestros días, casi todo el ácido cítrico industrial se obtiene del hongo *Aspergillus Níger*, que acumula enormes cantidades del ácido y es muy fácil de cultivar en grandes fermentadores de acero.

El ácido cítrico es uno de los aditivos más utilizados por la industria alimentaria. Se obtiene por fermentación de distintas materia primas, especialmente la melaza de caña de azúcar. El ácido cítrico es un ácido orgánico tricarbónico que está presente en la mayoría de las frutas, sobre todo en cítricos como el limón y la naranja.

Es un buen conservante y antioxidante natural que se añade industrialmente en el envasado de muchos alimentos como las conservas vegetales enlatadas. En bioquímica aparece como una molécula intermediaria en el ciclo de los ácidos tricarbónicos, proceso realizado por la mayoría de los seres vivos.

En el organismo humano el ácido cítrico ingerido se incorpora al metabolismo normal, degradándose totalmente y produciendo energía en una proporción comparable a los azúcares. Es perfectamente inocuo a cualquier dosis concebiblemente presente en un alimento.



Figura 2-3 Lote de ácido cítrico usado

El ácido cítrico y sus sales se pueden emplear en prácticamente cualquier tipo de producto alimentario elaborado. El ácido cítrico es un componente esencial de la mayoría de las bebidas refrescantes, (excepto las de cola, que contienen ácido fosfórico) a las que confiere su acidez, del mismo modo que el que se encuentra presente en muchas frutas produce la acidez de sus zumos, potenciando también el sabor a fruta. Con el mismo fin se utiliza en los caramelos, en pastelería, helados, etc. Es también un aditivo especialmente eficaz para evitar el oscurecimiento que se produce rápidamente en las superficies cortadas de algunas frutas y otros vegetales.

También se utiliza en la elaboración de pan, conservas de pescado y crustáceos frescos y congelados entre otros alimentos. Los citratos sódico o potásico se utilizan como estabilizantes de la leche esterilizada o UHT [21].

<b>Sector</b>	<b>Uso</b>
Bebidas	Saborizante y regulador del pH; incrementa la efectividad de los conservantes antimicrobianos
Dulces y Conservas	Acidulante y regulador del pH para lograr una óptima gelificación
Alimentos Congelados	Ayuda a la acción de los antioxidantes; inactiva enzimas previniendo pardeamientos indeseables; inhibe el deterioro del sabor y el color
Confitería y Repostería	Se utiliza como acidulante, resaltador de sabores y para optimizar las características de los geles
Lácteos	Estabilizante en cremas batidas
Industria farmacéutica	Efervescencia y sabor. Anticoagulante de la sangre

**Tabla 2-4 Usos comunes del ácido cítrico**

#### 2.1.5.1 Características generales:

Formula	$C_6H_8O_7$
Peso molecular	192.13
Apariencia	crisales blancos
Sabor	sabor ácido
Olor	prácticamente sin olor
Solubilidad (gr./100 ml a 25°C)	en agua : 162, en etanol: 59, en éter : 0.75
Punto de fusión:	153°C

**Tabla 2-5 Principales características del ácido cítrico**

### 2.1.6 Lactato cálcico (E 327):

Es un ácido natural producido por las bacterias en los alimentos fermentados, los cuales son ricos en este componente. Es producido comercialmente a través de la fermentación bacteriana del almidón y las melazas. Así mismo, se produce en grandes cantidades en el intestino grueso por la actividad de las bacterias residentes.

Tanto el ácido láctico como los lactatos son usados como conservantes, principalmente contra las levaduras y los hongos. Principalmente es usado para estabilizar la estructura de frutas, vegetales y patatas durante su procesamiento. También ejerce una actividad antioxidante.

Formula semidesarrollada	$C_6H_{10}O_6Ca \cdot 5H_2O$
Masa molecular	308.3 g/mol
Punto de fusión (sólido → líquido)	240 °C
Solubilidad en agua	9 g / 100 ml en agua a 25 °C

Tabla 2-6 Principales características del lactato cálcico

El lactato cálcico pentahidratado se presenta en forma de polvo blanco, o cristal. Siendo una sal de calcio por reacción con el ácido láctico. Farmacológicamente se administra como tratamiento para la deficiencia de calcio, cuya finalidad es la de coagulante sanguíneo [22].

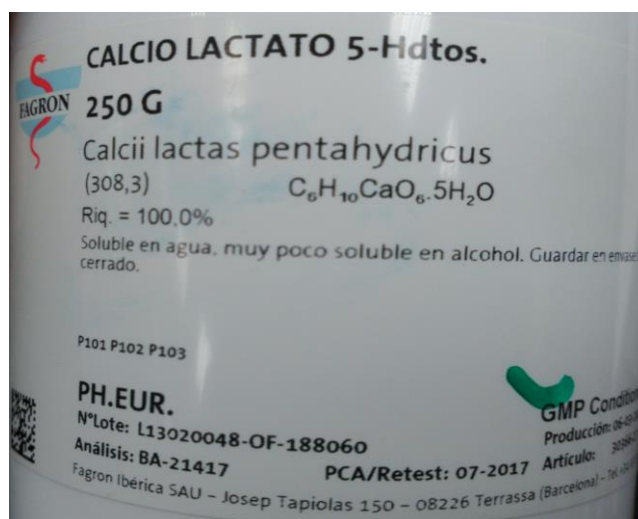


Figura 2-4 Bote de lactato cálcico usado: Pentahidratado

El lactato de calcio pentahidratado se utiliza como conservador de alimentos, cremas, helados, quesos, etc., además como endurecedor de alimentos como aceitunas y otras conservas vegetales y también es utilizado en la producción de productos farmacéuticos.



### 2.1.7 La filtración

Para poder clasificar los diferentes tipos de filtros antes hay que definir qué tipos de sólidos somos capaces de eliminar.

Se entiende como sólidos aquellos elementos o compuestos en el agua que no son agua, incluso las aguas naturales también presentan sólidos en su composición. Los sólidos en suspensión son aquellos que se eliminan una vez que se hacen pasar por un filtro con un tamaño de poro determinado, los sólidos filtrables pasan a través del filtro y no son retenidos.

La presencia de sólidos en suspensión y coloides aumenta la turbidez y el color del agua, mientras que los sólidos disueltos incrementan la salinidad. El tamaño, la cantidad de sólidos, la forma y naturaleza influyen en el color y turbidez, por lo que el estudio de dichos parámetros nos da una buena aproximación de la contaminación general del agua, sin tener en cuenta la toxicidad de los sólidos.

La Organización Mundial de la Salud ha reiterado en numerosas ocasiones la importancia de llevar un control exhaustivo de la turbidez, ya que según la OMS una turbidez elevada protege a los microorganismos de los efectos de la desinfección, debiendo ser baja para que los efectos de la desinfección sean eficaces.

Posterioros estudios han confirmado que comenzar la desinfección del agua sobre algo sucio o con turbidez elevada es tarea realmente imposible sin un proceso inicial que disminuya la turbidez del agua, por lo que se hace obligatorio la necesidad de realizar un tratamiento físico óptimo que reduzca esa turbidez para proceder a la desinfección o tratamiento químico.

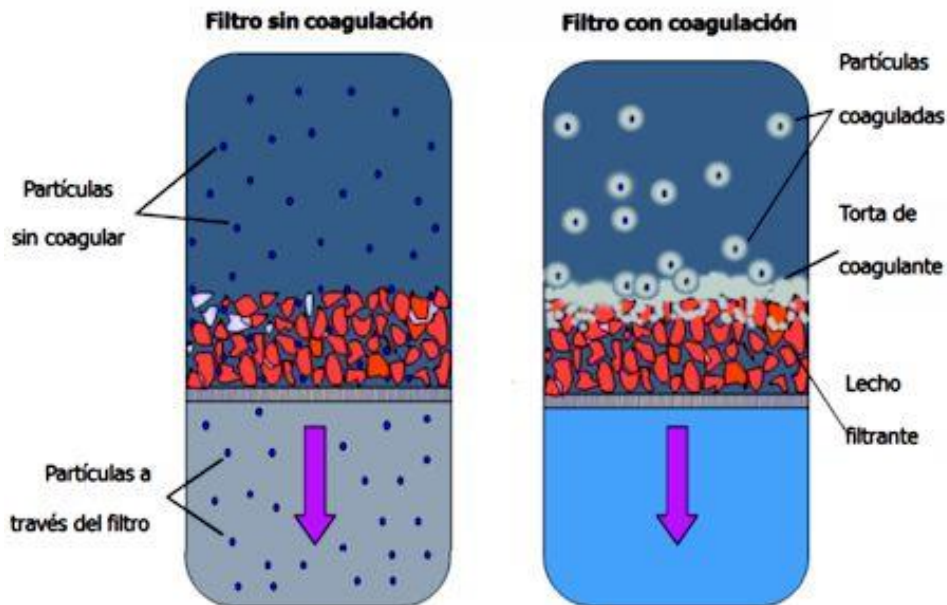


Figura 2-5 Filtración con y sin coagulante [23]

## 3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Trabajo de laboratorio

#### 3.1.1 Plan de trabajo

Para cumplir con el objetivo principal del trabajo, la evaluación del tratamiento de aguas grises para su posterior reutilización, se fundamenta gran parte del peso del mismo en el trabajo experimental en el laboratorio de química.

Para ello se ha seguido un plan de trabajo que ha consistido en el desarrollo de la coagulación-floculación tanto con lactado cálcico como con ácido cítrico, como variables dependientes. Se han realizado 15 experimentos para generalizar las diferentes combinaciones de las tres variables independientes, concentración de coagulante, tiempo de agitación en un test de jarras y tiempo de decantación, siendo una experimentación contrastada para el estudio de todas las posibles variables de la combinación resultante entre estas tres variables independientes, quedando fijas las variables dependientes para el ácido y para el lactato.

Una vez realizados los experimentos, se decide implantar un paso intermedio, que consistió en la filtración de las muestras. Ya realizada la filtración se procede al análisis de la turbidez, mediante un turbidímetro, además del estudio de la absorbancia mediante un espectrofotómetro de luz UV-VIS.

Las muestras de agua gris fueron tomadas en las lanchas de instrucción de la Escuela Naval Militar. Dichas lanchas se usan para el adiestramiento de los alumnos durante los tres primeros años de escuela. Estas aguas se concentran en un depósito inferior, y se expulsan al mar por diferencia de presión.

Una vez analizadas las muestras se procedió al estudio de la fitotoxicidad, para así finalizar el proceso experimental, y poder dar paso al análisis estadístico de los resultados y la interpretación de los valores obtenidos.

### 3.1.2 Ejecución del plan de trabajo

Se recogió una muestra de 5 litros de agua gris de los depósitos que se encuentran bajo la cubierta inferior de las lanchas de instrucción. En las lanchas, la tapa de acceso al depósito se encuentra bajo la chapa suelo y el diámetro es muy reducido, de aproximadamente unos 12 cm, por lo que se precisó de unas pinzas y un recipiente menor para llenar la garrafa de muestra.

El test de coagulación-floculación se llevó a cabo en un test de jarras (Figura 3-1) en el que se colocaron vasos de precipitados con 200 ml de agua gris en cada uno de ellos, a los que se añadió la dosis de coagulante determinada por el diseño experimental. Los coagulantes analizados fueron lactato cálcico y ácido cítrico. La velocidad de agitación se fijó en 75 rpm y el tiempo de decantación fue variable, dependiendo del diseño experimental. Una vez finalizado el experimento se guardaron 30 ml de muestra de cada vaso de precipitados, para posterior análisis.

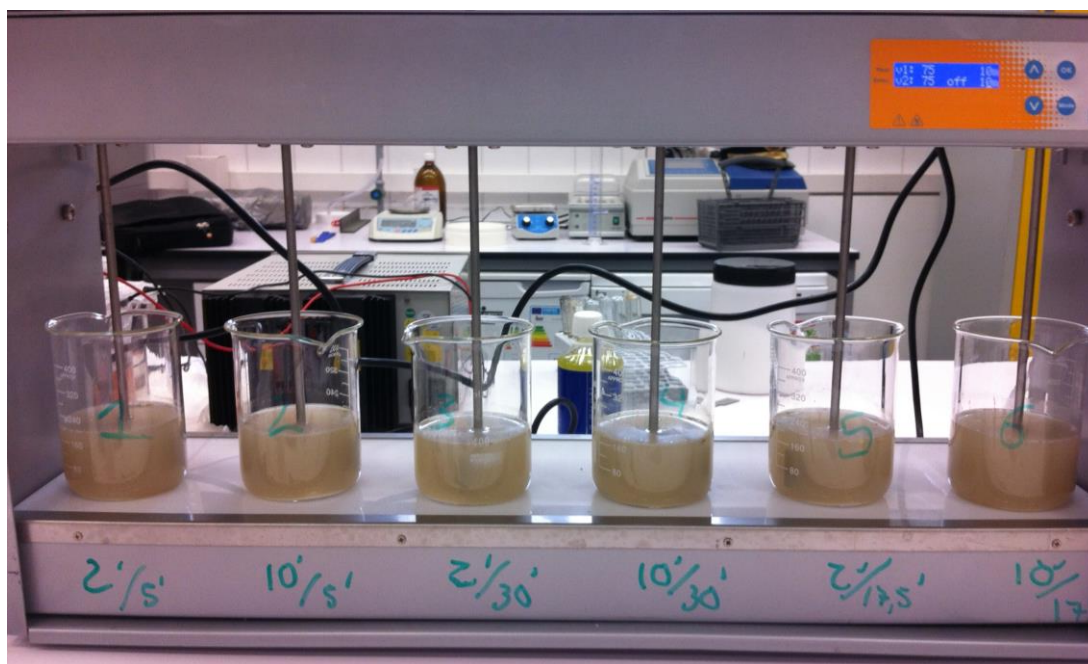


Figura 3-1 Test de jarras

Para la filtración se usaron vasos de precipitados, embudos y papel de filtrar con las siguientes características [(1.2  $\mu$ m),  $\text{\O}47\text{mm}$ , 100/pk.]

### 3.1.3 Turbidez

La turbidimetría es la técnica analítica basada en la dispersión de la luz por partículas en suspensión en el seno de una disolución, la cual mide la disminución de la transmitancia del haz de luz al atravesar la muestra. La turbidez es uno de los parámetros más importantes en la calidad del agua, es un indicativo de su contaminación, tiene un papel importante en el desempeño de laboratorios de prueba de análisis de las plantas de tratamiento de aguas residuales y de plantas purificadoras agua.

#### 3.1.3.1 Procedimiento

Para la medida de la turbidez se toman las muestras de cada matraz Erlenmeyer y se filtran. Se introducen en la celda de medida del turbidímetro (previamente calibrado) y se anota el resultado. La medida se obtiene en Unidades Nefelométricas de Turbidez o NTU.



Figura 3-2 Maletín de trabajo del turbidímetro

### 3.1.4 Absorbancia

También conocida como densidad óptica (OD) la Absorbancia se define como la relación (logarítmica) entre la intensidad de la luz que incide sobre una muestra y la intensidad de esa misma luz que es transmitida a través de esa muestra. Cuando una luz de una longitud de onda determinada, seleccionada por un filtro, incide sobre una muestra, parte de esa luz es absorbida. La luz no absorbida pasa a través de la muestra y es recogida por un detector colocado en el otro lado del pocillo de la microplaca, frente a la fuente de luz.

### 3.1.4.1 Procedimiento

Para el estudio de la absorbancia se precisa de un equipo especializado para ello, en nuestro caso hemos usado un espectrofotómetro de luz ultravioleta. La espectrofotometría ultravioleta-visible (UV/VIS) es una espectroscopia de emisión de fotones y una espectrofotometría. Utiliza radiación electromagnética (luz) de las regiones visible, ultravioleta cercana (UV) e infrarroja cercana (NIR) del espectro electromagnético, es decir, una longitud de onda entre 380nm y 780nm. La radiación absorbida por las moléculas desde esta región del espectro provoca transiciones electrónicas que pueden ser cuantificadas.

La espectroscopia UV-visible se utiliza para identificar algunos grupos funcionales de moléculas, y además, para determinar el contenido y fuerza de una sustancia.

Se utiliza en laboratorios de química y bioquímica para determinar pequeñas cantidades de cierta sustancia, como las trazas de metales en aleaciones o la concentración de cierto medicamento que puede llegar a ciertas partes del cuerpo.

Para el análisis se introducen una cubeta con agua destilada, que actuará como blanco, y se ajusta la línea de base. A continuación se introducen las cubetas con las muestras de agua gris y se anotan los valores de absorbancia, medidos a una longitud de onda de 450 nm.



Figura 3-3 Pantalla del espectrofotómetro con el análisis de la muestra original

### 3.1.5 Fitotoxicidad

Se entiende por fitotoxicidad la condición o cualidad de un sustrato que influye negativamente en el crecimiento vegetal. Las formas solubles y cambiables de los metales, así como algunos complejos organometálicos, se consideran móviles y potencialmente biodisponibles debido a que se transfieren a las raíces de las plantas en la etapa de asimilación de las raíces.

La determinación de la biodisponibilidad de los metales traza también depende en gran medida de las características específicas de la planta estudiada y a las condiciones en que esta crece.



### 3.1.5.1 Procedimiento

La fitotoxicidad de las muestras se determinó usando una versión modificada del test de Zucconi. Se usaron diez semillas de lechuga. Aunque no existen especies de uso estandarizado en todo el mundo recomienda que se incluyan en el estudio una monocotiledónea y/o una dicotiledónea. En este estudio, la lechuga se escogió por ser una de las semillas dicotiledóneas más empleadas en este tipo de estudios [24].

El test de Zucconi se realiza sobre material fresco, se prepara un extracto acuoso de los materiales (relación peso/volumen 1:10) en base seca, aunque puede utilizarse la disolución sin diluir si su fitotoxicidad no se espera que sea muy elevada. Las semillas se colocan sobre papel de filtro en placas petri y se le añaden 5 ml del extracto acuoso. Las placas se mantienen en la oscuridad a 28-32 °C durante 5 días y por último se determina el número de semillas germinadas y la longitud de las raíces. El índice de germinación se calcula a partir de la fórmula:

$$IG = \%G \frac{Lm}{Lc}$$

Donde

% G= Porcentaje de semillas germinadas con respecto al control con agua destilada

Lm= Longitud media de las raíces de las semillas germinadas en el tratamiento

Lc= Longitud media de las raíces de las semillas germinadas en el control

Pasados 5 días de incubación en la oscuridad, se determinó el porcentaje de germinación de las semillas y la longitud de las semillas. Los valores obtenidos para el agua destilada se usaron como control del proceso. El Índice de Germinación (IG) se calculó mediante la siguiente ecuación:  $IG = G \cdot (La)/Lc$ , donde G es el número de semillas germinadas expresado como porcentaje con respecto al control, La es la media de la longitud de las raíces en las muestras de sedimento y Lc es el valor medio de las raíces en el control.



Figura 3-4 Placas Petri en la estufa

### *3.1.6 Software STATISTICS:*

El software STATISTICS se ha utilizado para analizar los datos obtenidos mediante la experimentación en el estudio de la turbidez tanto para el ácido cítrico como para el lactato cálcico. Para ambos coagulantes se fijaron las tres variables, dependientes, que se considera que influyen más en el proceso de coagulación-floculación: concentración del coagulante, tiempo de agitación y tiempo de decantación. Las variables de salida, independientes, fueron la turbidez y la absorbancia. Para el valor óptimo se determinó además la fitotoxicidad, con el objetivo de recomendar el agua tratada como agua de regadío.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1.1 Condiciones experimentales

Para la optimización de la dosis óptima de coagulante para el tratamiento de aguas grises de buques se utilizó un diseño factorial Box-Behnken incompleto  $3^3$ . Las variables elegidas (dependientes) fueron: concentración de coagulante, tiempo de agitación y tiempo de decantación. Para ello, se prepararon 15 muestras, en las que se variaron las cantidades de coagulantes y tiempos de agitación y salinidad. En el diseño experimental se incluyen tres puntos centrales (experimentos 13-15) fijados a las concentraciones medias de cada variable, para evaluar la calidad del proceso experimental. Se realizaron medidas de la turbidez del agua filtrada y de absorbancia después de finalizar la agitación de las muestras.

El rango de variables dependientes que se determinan en función de las variables independientes ensayadas puede comprobarse en las tablas 4-1:

<b><i>Variables dependientes</i></b>		
<b>Variable</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Unidades</b>
<b>Reducción de turbidez</b>	$y_1$	NTU
<b>Reducción de absorbancia</b>	$y_2$	nm

**Tabla 4-1 Variables dependientes utilizadas en este estudio en la optimización**



Las condiciones experimentales empleadas en cada uno de los quince experimentos se recogen en la tabla 4-2 y la tabla 4-3:

<i>a) Variables independientes</i>			
Variable	Nomenclatura	Unidades	Rango de variación
Concentración de ácido cítrico	[Cítrico]	g/l	1 - 5
Tiempo de agitación	[ta]	min	2 - 10
Tiempo de decantación	[td]	min	5 - 30
<i>b) Variables codificadas, adimensionales</i>			
Variable	Nomenclatura	Unidades	Rango de variación
Concentración de ácido cítrico	$x_1$	--	(-1,1)
Tiempo de agitación	$x_2$	--	(-1,1)
Tiempo de decantación	$x_3$	--	(-1,1)

Tabla 4-2 Variables independientes utilizadas en este estudio en la optimización del ácido cítrico

<i>a) Variables independientes</i>			
Variable	Nomenclatura	Unidades	Rango de variación
Concentración de lactato cálcico	[LaCa]	g/l	1 - 5
Tiempo de agitación	[ta]	min	2 - 10
Tiempo de decantación	[td]	min	5 - 30
<i>b) Variables codificadas, adimensionales</i>			
Variable	Nomenclatura	Unidades	Rango de variación
Concentración de lactato cálcico	$x_1$	--	(-1,1)
Tiempo de agitación	$x_2$	--	(-1,1)
Tiempo de decantación	$x_3$	--	(-1,1)

Tabla 4-3 Variables independientes utilizadas en este estudio en la optimización del lactato cálcico

### 4.1.2 Método de optimización Box-Behnken

Para la optimización del coagulante más efectivo se utilizó el método Box-Behnken, en el cual se utilizan técnicas matemáticas y estadísticas para obtener un modelo en base a los datos obtenidos durante el proceso experimental. Son diseños rotatorios de segundo orden basados en diseños factoriales incompletas. En estos diseños la varianza de la respuesta predicha en cualquier punto de la superficie es función sólo de la distancia al punto central. El número de experimentos requeridos (N) se obtiene con la siguiente fórmula;  $N = 2k(k-1) + C_0$ , donde k es el número de factores y  $C_0$  el número de valor central. La función (1) describe la función lineal.

$$y = \beta_0 \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon \quad \text{eq. (1)}$$

Donde  $\beta_0$  es el factor constante,  $\beta_i$  representa el coeficiente de parámetros lineales, k es el número de variables,  $x_i$  representa las variables, y  $\varepsilon$  es el factor residual asociado a los experimentos. Cuando un resultado experimental no se ajusta a una ecuación lineal, es deseable incluir niveles en las variables de entrada. En este caso, se debe generar una respuesta polinómica, ecuación (2). Los experimentos Box-Behnken fueron diseñados para situaciones en las cuales es deseable crear un modelo de segundo orden.

$$y = \beta_0 \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j \geq i}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad \text{eq. (2)}$$

Donde  $\beta_{ij}$  representa el coeficiente de interacción de parámetros. Estos diseños incluyen un punto central usado para determinar la curvatura, y condiciones críticas y óptimas son deducidas por la función (3) de segundo orden que incluye términos cuadráticos;

$$y = \beta_0 \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j \geq i}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad \text{eq. (3)}$$

Donde  $\beta_{ii}$  representa el coeficiente de los términos cuadráticos. Los resultados experimentales permiten el desarrollo de métodos empíricos que describen las relaciones entre las variables experimentales y de cálculos por ecuaciones que incluyen términos lineales, de interacción y cuadráticos.

En el método estandarizado, se usan límites para las diferentes variables, que oscilan entre (-1,1), definidas como cantidad de ácido cítrico ( $x_1$ ), tiempo de agitación ( $x_2$ ), y tiempo de decantación ( $x_3$ ). Por lo tanto la función cuadrática (4) obtenida por estas tres variables es;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 \quad \text{eq. (4)}$$

La variable dependiente es y,  $\beta$  es el coeficiente de regresión y x representa las variables independientes.

Las variables independientes se estandarizan para evitar que el peso de la variable ejerza una influencia superior en el análisis estadístico. Para ello, las variables se codifican asignándoles el valor (-1) al valor inferior, (0) al valor medio y (+1) al valor superior.

Para la optimización del lactato cálcico las variables estandarizadas, oscilando entre (-1,1) se definen como: cantidad de lactato cálcico ( $x_1$ ), tiempo de agitación ( $x_2$ ) y tiempo de decantación ( $x_3$ ).

Los resultados obtenidos en ambos diseños experimentales se muestran en las tablas 4-4 y 4-5:

Variables independientes codificadas				Turbidez (NTU)
EXP	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	y <sub>1</sub>
1	0	-1	-1	17.14
2	0	1	-1	22.35
3	0	-1	1	30.54
4	0	1	1	21.80
5	-1	-1	0	29.22
6	-1	1	0	29.73
7	1	-1	0	21.60
8	1	1	0	20.84
9	-1	0	-1	46.80
10	-1	0	1	35.41
11	1	0	-1	18.96
12	1	0	1	19.36
13	0	0	0	21.47
14	0	0	0	21.01
15	0	0	0	20.63

Tabla 4-4 Experimentos realizados para el ácido cítrico y resultados para turbidez

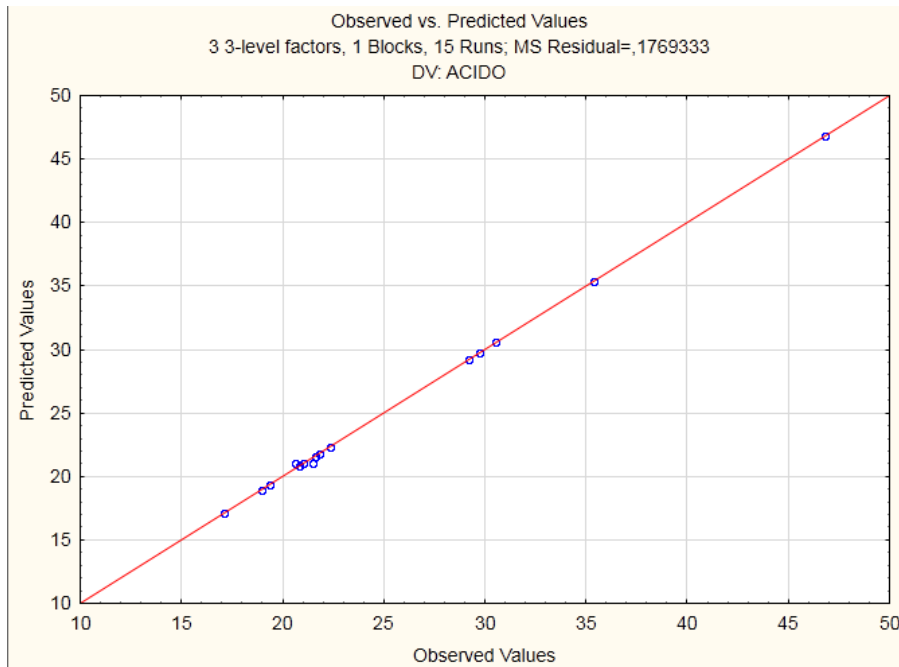
Variables independientes codificadas				Turbidez (NTU)
EXP	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	y <sub>1</sub>
1	0	-1	-1	46.62
2	0	1	-1	40.19
3	0	-1	1	47.35
4	0	1	1	36.05
5	-1	-1	0	48.93
6	-1	1	0	53.00
7	1	-1	0	43.27
8	1	1	0	37.01
9	-1	0	-1	44.84
10	-1	0	1	47.50
11	1	0	-1	41.03
12	1	0	1	41.61
13	0	0	0	45.10
14	0	0	0	43.95
15	0	0	0	44.53

Tabla 4-5 Experimentos realizados para el lactato cálcico y resultados para turbidez

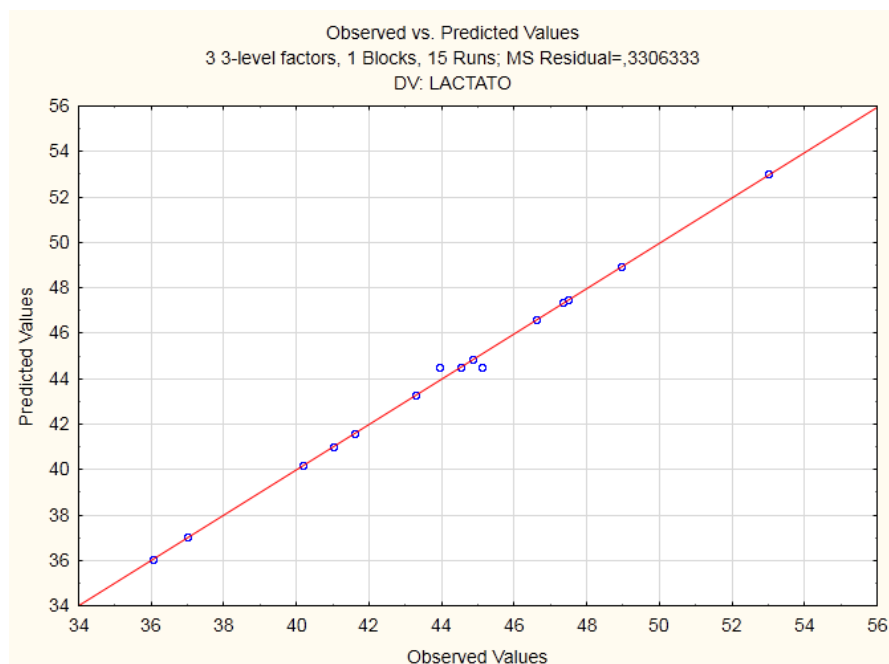
### 4.1.3 Ajuste del modelo

Hay que destacar el alto grado de precisión que se ha obtenido durante la experimentación, lo cual da validez al ajuste del modelo y a la fiabilidad de los datos obtenidos.

En las rectas de estimación evaluadas por el programa se pueden apreciar los valores predichos frente a los observados de turbidez, tanto para con el ácido cítrico (figura 4-1) como para con el lactato cálcico (figura 4-2).



**Figura 4-1 Recta de valores de turbidez con ácido cítrico**

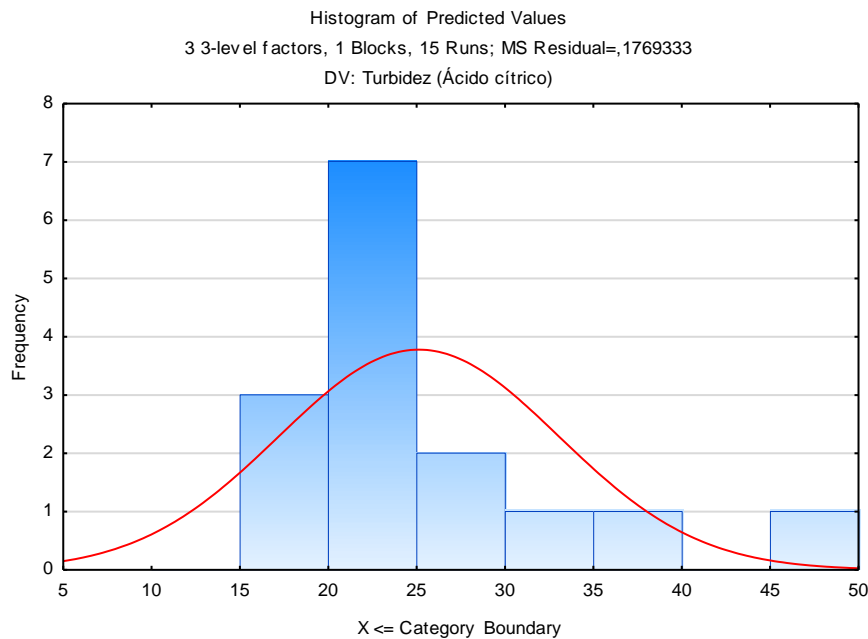


**Figura 4-2 Recta de valores de turbidez con lactato cálcico**

#### 4.1.4 Histogramas de valores

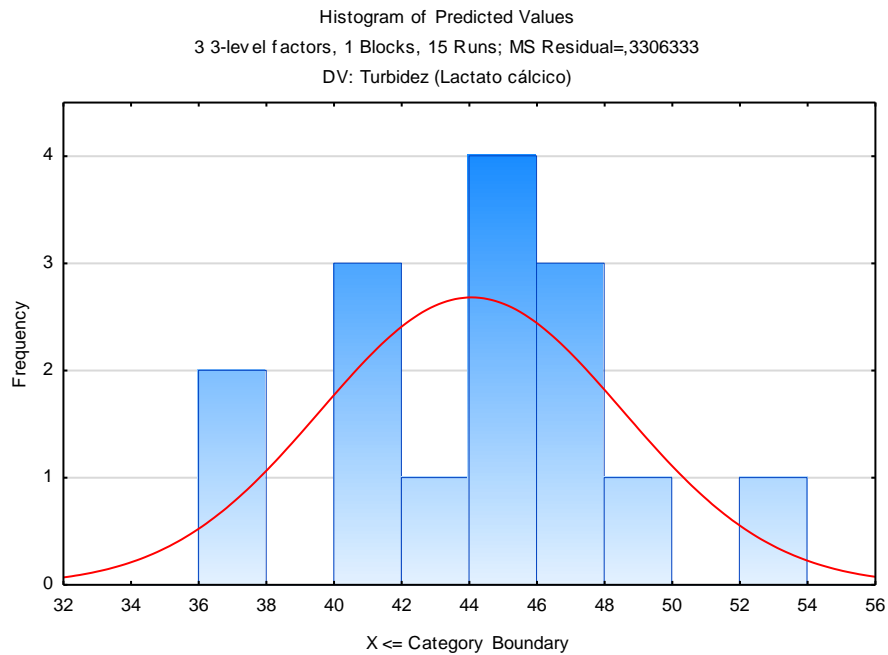
En los histogramas de las figuras 4-3 y 4-4 se aprecia la predicción de valores de la turbidez tanto para el ácido cítrico como para el lactato cálcico.

Para el ácido cítrico el programa muestra que, en el intervalo ensayado, pueden obtenerse valores de turbidez de entre 15 y 50 NTU, siendo los valores más probablemente alcanzados los que se encuentran entre 20 y 30 NTU. Cabe recordar que se partía de un agua gris con una turbidez sobre los 1050 NTU, por lo que esta reducción alcanza de forma más que satisfactoria los objetivos de turbidez del experimento inicial. En una combinación media de las tres variables independientes ensayadas podrá reducirse la turbidez hasta unos 25 NTU de media, y podrán alcanzarse los 15 NTU bajo combinaciones determinadas de las tres variables. Debe controlarse la combinación de variables puesto que, en el peor de los casos, se sobrepasan los 30-40 NTU y el agua deja de ser apta para su uso en regadío.



**Figura 4-3 Histograma de valores predichos para ácido cítrico**

En lo que respecta a los valores predichos para el lactato cálcico, puede observarse que los valores son ligeramente superiores a los obtenidos con el ácido cítrico, con unos valores predichos promedio que se sitúan en torno a los 44 NTU, oscilando entre 36 como valor mínimo y 54 como valor máximo. Así pues, el uso de las aguas obtenidas con este coagulante requeriría de un tratamiento adicional para que pudiese ser apto para aguas de regadío.



**Figura 4-4 Histograma de valores predichos para lactato cálcico**

#### 4.1.5 Análisis de las variables con mayor influencia en el proceso

En las gráficas de Pareto de las figuras 4-5 y 4-6, se pueden apreciar las variables más influyentes de la experimentación: en ambos casos es la concentración de coagulante el factor determinante, tanto en lo relativo a su uso en solitario (combinaciones lineales ó cuadráticas) como a su uso sinérgico con otras variables. La agitación y la decantación aparecen como factores menos influyentes en el proceso.

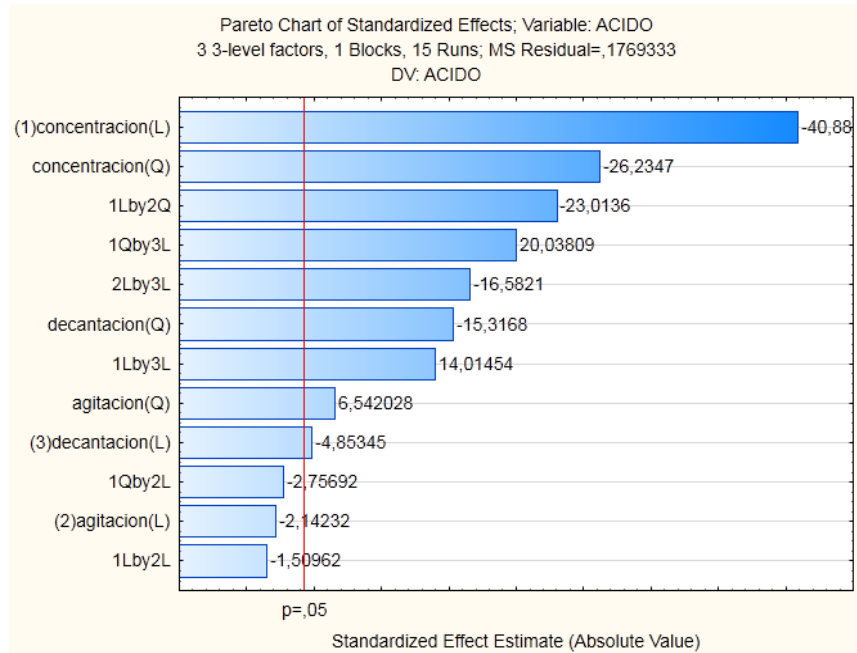


Figura 4-5 Gráfico de Pareto para el ácido cítrico

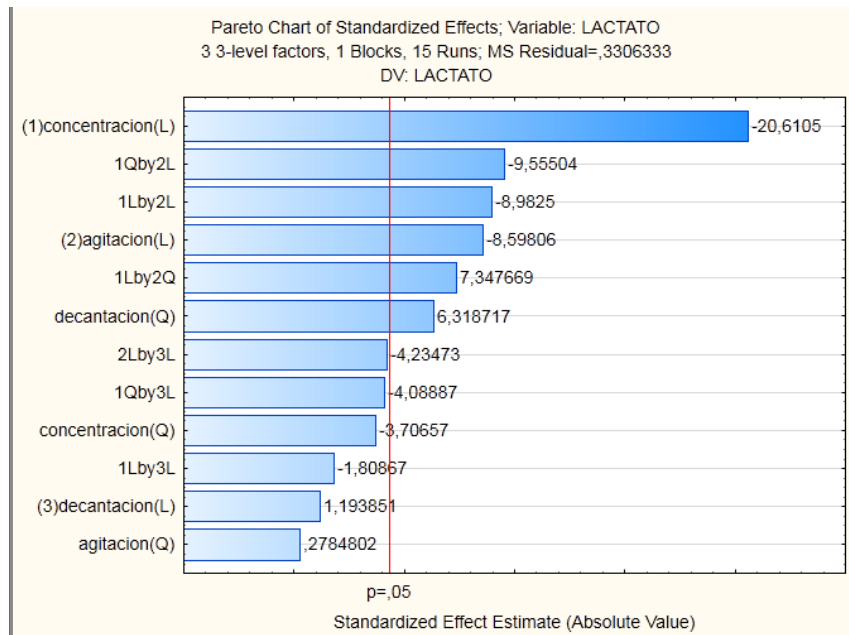


Figura 4-6 Gráfico de Pareto para el lactato cálcico

#### 4.1.6 Predicción de los valores óptimos de turbidez

A partir de los resultados obtenidos puede deducirse el nivel de significación de cada variable dentro del proceso y ajustar los datos a una ecuación predictiva. Se incluyen en la ecuación aquellos factores que presentan un p-valor inferior a 0,05 y aquellos cuyo peso es suficiente. Los factores con un peso muy bajo y que, por lo tanto, no modifican apenas el valor predictivo de la ecuación no se incluyen.

Los valores a partir de los cuales se obtiene la ecuación predictiva son los siguientes:

	<b>Y1-CÍTRICO</b>	<b>P<sub>y1</sub>-CÍTRICO</b>	<b>Y2-LACTATO</b>	<b>P<sub>y2</sub>-LACTATO</b>
<b>b<sub>0</sub></b>	21,04	0,00013*	44,53	0,000056*
<b>b<sub>1</sub></b>	-10,97	0,00037*	-2,42	0,014*
<b>b<sub>11</sub></b>	5,74	0,0014*	1,11	0,065
<b>b<sub>2</sub></b>	-0,88	0,052	-4,43	0,0042*
<b>b<sub>22</sub></b>	-1,43	0,022*	-0,083	0,806
<b>b<sub>3</sub></b>	3,21	0,0043*	-0,85	0,097
<b>b<sub>33</sub></b>	3,35	0,0042*	-1,89	0,024*
<b>b<sub>12</sub></b>	-0,31	0,27	-2,58	0,012*
<b>b<sub>13</sub></b>	2,95	0,0050*	-0,52	0,21
<b>b<sub>23</sub></b>	-3,49	0,0036*	-1,22	0,051

Tabla 4-6 Coeficientes significativos (p<0.05)

De esta forma, las ecuaciones predictivas quedan de la siguiente forma:

$$[\text{Turbidez, Ácido cítrico}] = 21,04 - 10,97[\text{Cítrico}] + 5,74[\text{Cítrico}]^2 - 1,43[\text{Td}] + 3,21[\text{Td}]^2 + 2,95[\text{Cítrico}][\text{Td}] - 3,49[\text{Ta}][\text{Td}]$$

$$[\text{Turbidez, Lactato cálcico}] = 44,53 - 2,42[\text{Lactato}] - 4,43[\text{Ta}] - 1,89[\text{Td}]^2 - 2,58[\text{Ta}][\text{Td}]$$

Donde [Cítrico] es la concentración de ácido cítrico ensayada; [Lactato] es la concentración de lactato cálcico; [Ta] es el tiempo de agitación y [Td] es el tiempo de decantación.



Para el ácido cítrico puede determinarse además, dentro del rango de variables ensayadas, cuál es el valor mínimo que puede obtenerse y en qué condiciones se consigue (figura 4-7):

Critical values; Variable: ACIDO (3 factor)			
Solution: saddlepoint			
Predicted value at solution: 18,59018			
Factor	Observed Minimum	Critical Values	Observed Maximum
concentracion	-1,00000	0,657331	1,000000
agitacion	-1,00000	-0,164969	1,000000
decantacion	-1,00000	-0,034671	1,000000

Figura 4-7 Valores críticos predichos para el ácido cítrico

Hay que señalar que el ácido, como se puede apreciar es mejor coagulante, tiene unos valores que cumplen con la experimentación del método Box Behnken, ya que para cualquiera de sus variables, los valores quedan recogidos entre los márgenes establecidos (Figura 4-7). Se observa que puede obtenerse un valor de turbidez de 18,6 NTU cuando se fija la concentración a un valor codificado de +0,65, la agitación a -0,16 y el tiempo de decantación a -0,03.

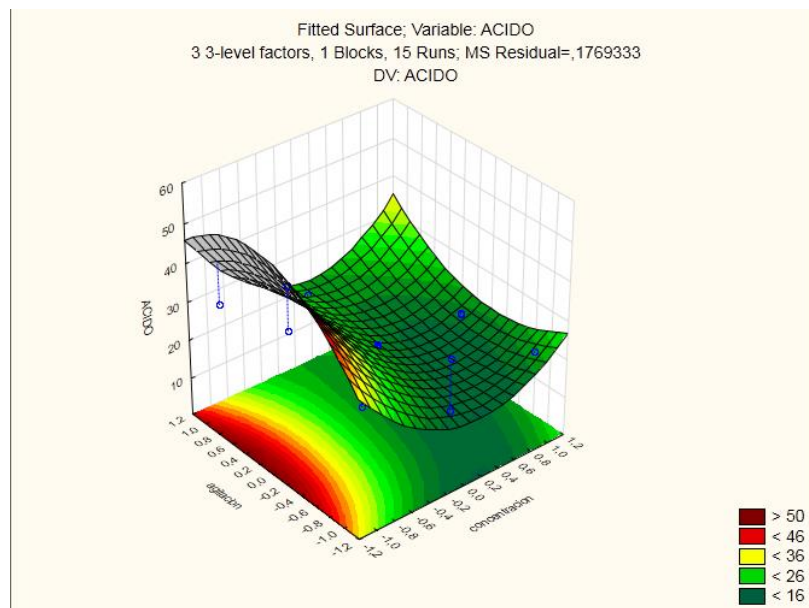
Para el lactato cálcico el modelo predice que pueden obtenerse valores de turbidez de 59,67 NTU, aunque el modelo no es fiable en este caso, ya que el modelo sugiere condiciones fuera de rango para lograr el mínimo de turbidez (Figura 4-8). Por los resultados de turbidez obtenidos, para una solución estándar, se demuestra que hay un déficit de concentración, prácticamente duplicando la cantidad. Además, el tiempo de agitación que se precisa presenta una variación mucho mayor, debido a la baja capacidad que presenta el lactato para formar disolución con el agua (Figura 4-8).

Critical values; Variable: LACTATO (3 factor)			
Solution: saddlepoint			
Predicted value at solution: 59,66573			
Factor	Observed Minimum	Critical Values	Observed Maximum
concentracion	-1,00000	1,7665	1,000000
agitacion	-1,00000	-14,9400	1,000000
decantacion	-1,00000	-0,0056	1,000000

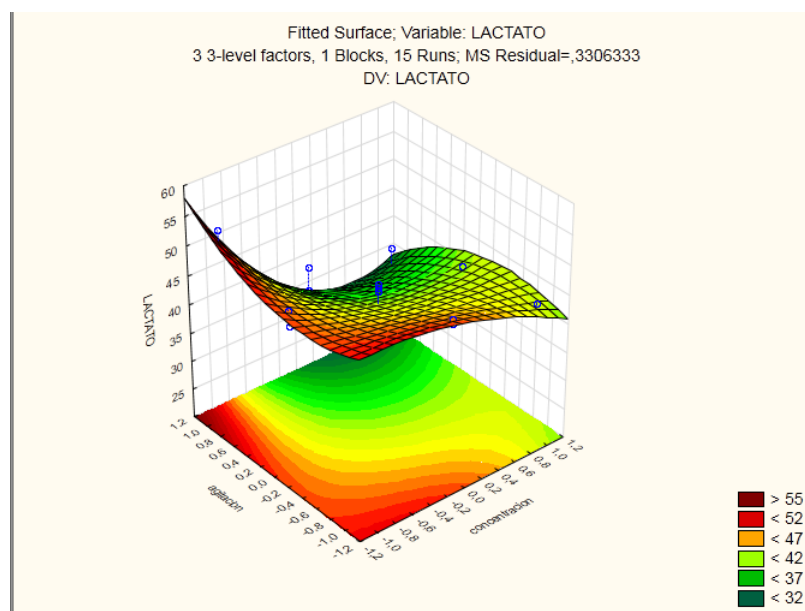
Figura 4-8 Valores críticos para el lactato cálcico

#### 4.1.7 Análisis de valores óptimos de turbidez mediante superficies de respuesta

Las superficies de respuestas (figuras 4-9 y 4-10) son una herramienta muy visual e intuitiva del programa que genera mediante el cálculo del polinomio cuadrático del método de optimización de Box Behnken, explicado en el punto 4.1.2. En el caso de estudio, para ambos coagulantes se ha fijado el tiempo de decantación, debido a que, teniendo en cuenta el filtrado posterior, se ha pretendido resaltar la importancia de la agitación en el caso del ácido respecto al lactato.



**Figura 4-9 Superficie cuadrática para el ácido cítrico**



**Figura 4-10 Superficie cuadrática para el lactato cálcico**

En ambas superficies se puede observar que el mínimo de turbidez se representa con el color verde oscuro. Se puede apreciar que con una buena combinación entre las variables, el uso de ácido cítrico puede llegar a obtener resultados inferiores a 16 NTU. Para el ácido cítrico puede obtenerse un mínimo valor de turbidez a partir de valores medios-altos de concentración del coagulante, siendo independiente del tiempo de agitación.

Para el lactato cálcico es necesario utilizar el máximo de concentración y el máximo tiempo de agitación para alcanzar el mínimo de turbidez, que es el doble del que puede alcanzarse con el ácido cítrico.

#### 4.1.8 Valoración de la absorbancia:

Una vez que se obtuvieron todos los valores de turbidez, se almacenaron de nuevo las muestras para proseguir con los análisis. El siguiente hito fue el estudio de la absorbancia para lo que se usa un espectrofotómetro de luz ultravioleta con una longitud de onda de 450 nm.

Antes de realizar ninguna medición de las muestras se analizó la absorbancia de una muestra del agua gris original recogida.

Se obtuvo un valor de 0.956 nm por lo que se fijó este como el valor referencial para evaluar las mejoras obtenidas (tabla 4-7) . Mediante unas cubetas de 4 ml se realizó la evaluación de la absorbancia.

El tren de mediciones del espectrofotómetro tiene cuatro ubicaciones de medición para distintas posiciones por lo que se introdujo un vaso con agua destilada, otro con agua tratada con el lactato cálcico, otro con agua tratada con ácido cítrico y por último se dejó el vaso con agua gris como valor referencial. Para los vasos de lactato y de ácido se tomaron las muestras que mejor resultado de turbidez habían dado.

<b>Agua gris</b>	<b>0.965 nm</b>
<b>Agua: lactato cálcico</b>	0.287 nm
<b>Agua: ácido cítrico</b>	0.105 nm
<b>Agua destilada</b>	0.040 nm

**Tabla 4-7 Valores de absorbancia obtenidos**

Puede observarse una disminución clara en la absorbancia del agua tratada con coagulantes, especialmente en el agua tratada con ácido cítrico. En este valor de absorbancia aparecen valores típicos de la materia orgánica, por lo que su eliminación o mitigación es un claro beneficio para las aguas grises, que podrán entonces considerarse aptas para otros usos.

#### 4.1.9 Valoración de la fitotoxicidad:

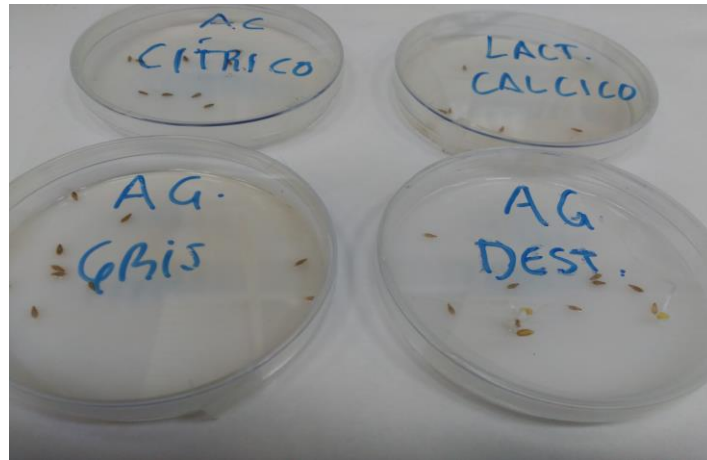


Figura 4-11 Placas petri tras 5 días en la estufa

La fitotoxicidad se valoró en las condiciones óptimas para cada coagulante, con el objetivo de evaluar los posibles usos de las aguas grises tratadas para regadío. Una de las condiciones, además de presentar valores de turbidez inferiores a 30-40 NTU, debe ser que no presenten toxicidad para los cultivos, razón por la cual se lleva a cabo este ensayo.

El ensayo se realiza en un experimento de germinación a cinco días, pasados los cuales se evalúan los resultados. Al pasar los 5 días comprobamos si han germinado las semillas (figura 4-12):

- En el agua destilada han germinado 3 semillas (4.3 cm, 3.4 cm y 3 cm)
- En el agua tratada con lactato ha germinado 1 semilla (0.7 cm)

Se observa una clara toxicidad de las aguas grises, ya que no se observa germinación. En lo que respecta al ácido cítrico, probablemente la acidez del coagulante influye negativamente sobre la germinación y se propone la adición de un corrector de pH antes de su utilización para otros fines.

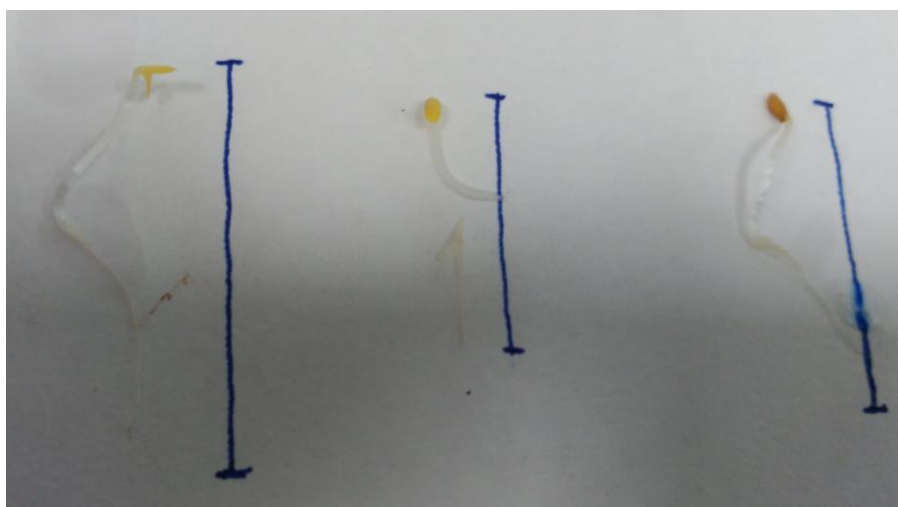


Figura 4-12 Semillas germinadas

## **5 CONCLUSIONES, IMPLANTACIÓN EN BUQUES Y LÍNEAS FUTURAS**

### **5.1 Conclusiones**

Este trabajo nace de la línea futura que quedó marcada en el *estudio de la eliminación de partículas en suspensión del agua* [20]. Analizando las necesidades hídricas de hoy en día, y la fuente incalculable de energía como es el agua, se planteó el estudio del tratamiento de aguas ya usadas, concretamente las aguas grises. Intentando darle un enfoque al ámbito militar, y abriendo futuras líneas de trabajo para implantación de los métodos de optimización estudiados en buques de la Armada.

Se profundiza en el campo de la Ingeniería Ambiental, el cual se encuentra en pleno auge, estudiando los diferentes contaminantes que afectan al agua ya usada. Análogamente se evalúa la necesidad mundial de reciclaje del agua, recalcando el protocolo de Londres y la implicación de las Fuerzas Armadas con el medioambiente.

Una vez asentadas las bases de trabajo, se recogen conceptos teóricos sobre la turbidez, absorbancia y fitotoxicidad, como factores de calidad del agua, para su posible optimización y reutilización.

El método de trabajo aporta conocimientos reseñables sobre la gran importancia del ámbito de la química en la reutilización del agua, así mismo, despierta gran interés en las distintas y numerosas técnicas y tratamientos de optimización existentes.

Una vez experimentado y analizado, se llega a la conclusión de que con un simple pero atento tratamiento del agua, se puede llegar a reducir una turbidez de casi 1100 NTU a unos 20 NTU, destacando la sencillez del coagulante usado y que mejor resultado nos ha dado, como es el ácido cítrico.

Con el estudio de la absorbancia se resaltan los resultados obtenidos al analizar la turbidez, y con la fitotoxicidad se abre un amplio campo de estudio para la reutilización de aguas grises para regadío y cultivo.

A continuación, en las líneas futuras, se invita a seguir el estudio de optimización de agua gris, con otros métodos como la electrocoagulación, y no menos importante el estudio y desarrollo de estas técnicas en los buques de la Armada. Ya que hoy en día existen empresas de primer nivel que trabajan en ello a gran escala, pudiendo combinar equipos ya desarrollados con sencillas técnicas de optimización como el uso de coagulantes sencillos de manipular, de bajo coste y de fácil obtención, siendo esta combinación presentada, el factor fundamental para futuros estudios, los cuales se auguran muy fructíferos.

## 5.2 Implantación en buques

Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales en buques militares, Detegasa [25]:

*El cambio de actitud respecto a la importancia de mantener el medio ambiente tiene un claro reflejo en las políticas, cada vez más restrictivas, que luchan por la aplicación de las tecnologías más recientes para los equipos de tratamiento de residuos a bordo.*



**Figura 5-1 Planta de tipo biológico convencional Delta**

La empresa española Detegasa atesora más de 40 años de experiencia abasteciendo sistemas de gestión medioambiental, tanto a nivel civil, con representación en más de 40 países, como a las principales Armadas de todo el mundo, entre ellas las de España, Reino Unido, Noruega, Australia o Rusia. Se ha especializado en el desarrollo de equipos para el tratamiento de los residuos generados en buques y desarrollado un sistema de gestión integral, cuyo objetivo es la reducción de los volúmenes de almacenamiento a bordo, bajo el cumplimiento de las normativas internacionales.

Gracias a su constante actividad en innovación y progreso, actualmente es capaz de ofrecer una solución completa de plantas Delta (Figura 5-1) para el tratamiento de aguas residuales de un modo convencional, mientras sigue desarrollando procesos de última generación.

### ÚLTIMA GENERACIÓN EN PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

En esta línea, confecciona plantas de tratamiento basadas en diferentes tecnologías, desde procesos biológicos convencionales de fangos activos, hasta compactos biorreactores de membrana y procesos físico-químicos para proyectos con requerimientos especiales, como los exigidos en buques de guerra.

La selección de uno u otro tipo dependerá de los requisitos específicos de cada proyecto, siendo todas ellas adaptables a la recolección de aguas por gravedad o por vacío.

Las plantas biológicas de fangos activos son sistemas convencionales de tipo aeróbico, diseñados bajo criterios de requisitos de mantenimiento y volumen mínimos y funcionamiento totalmente automático.

Los biorreactores de membranas son, por su parte, una opción muy eficaz cuando se trata de asegurar una óptima calidad del efluente, en el mínimo espacio. Son procesos de depuración biológica, donde se sustituyen la decantación (es aquí donde se invita a la posible implementación del uso de coagulantes para optimizar el proceso) y desinfección por un proceso de filtración mediante membranas. Este filtro físico garantiza una excelente calidad del efluente, incluso bajo condiciones muy desfavorables, las hace menos sensibles a variaciones de carga y permite mantener elevadas concentraciones de biomasa en el reactor biológico, lo que hace posible utilizar reducidos volúmenes. Además, disminuye en gran medida la producción de fangos en exceso y, por tanto, las necesidades de purgado.



**Figura 5-2 Planta de tratamiento de aguas residuales de tipo físico-químico**

El uso de sistemas de biorreactores de membrana (Figura 5-3) permite el tratamiento de elevados caudales de agua residual en volúmenes muy inferiores a los necesarios para plantas con el diseño basado en el sistema convencional de fangos activados. Esto es especialmente interesante en el caso de tripulaciones elevadas, donde un proceso convencional supondría un equipo de grandes dimensiones. La tecnología físico-química (Figura 5-2) es la menos sensible a la introducción de compuestos químicos y otros elementos extraños al proceso, además de ser la más estable frente a variaciones importantes de tripulación y la más compacta. Estas características la hacen muy adecuada para su aplicación en proyectos militares.



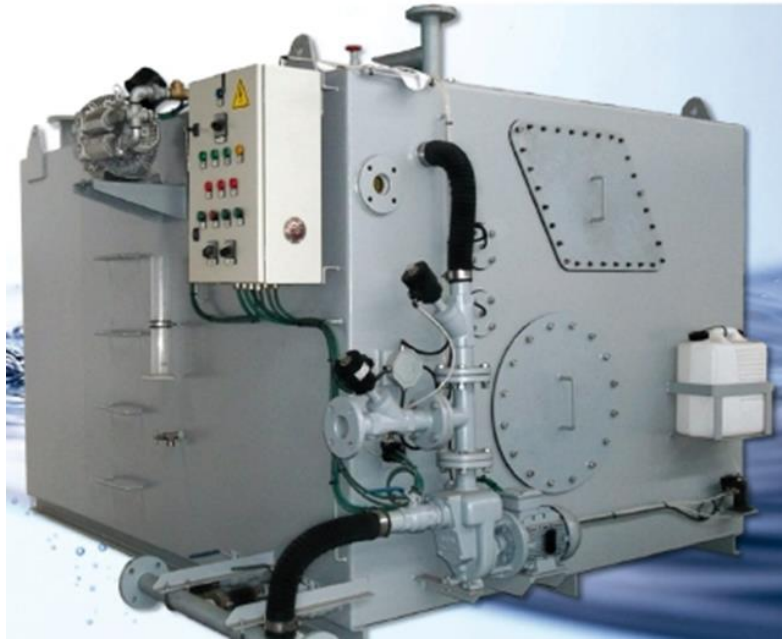


Figura 5-3 Planta de tratamiento de aguas residuales de tipo biorreactor de membranas “Delta”

La capacidad de embarque de personal, los cambios en las tripulaciones, los períodos más prolongados en puerto y las severas limitaciones de espacio hacen aconsejable, en muchos casos, este tipo de plantas. Con el objeto de proveer sistemas para la gestión de la totalidad de los residuos generados, pueden integrarse con otros (incinerador, separador de sentinas, tratamiento de comidas...) de modo similar al instalado en los buques más modernos de las armadas española y australiana, permitiendo la eliminación casi completa de los distintos residuos generados y sus productos secundarios y contribuyendo a la preservación del medio ambiente, además de suponer un importante ahorro en espacio y costes de gestión posterior de los mismos.

## 5.3 Líneas futuras

### 5.3.1 Estudio de la electrocoagulación:

La electrocoagulación es un método alternativo para la depuración de aguas residuales. Consiste en un proceso de desestabilización de los contaminantes del agua ya estén en suspensión, emulsionados o disueltos, mediante la acción de corriente eléctrica directa de bajo voltaje y por la acción de electrodos metálicos de sacrificio, normalmente aluminio/hierro. Se trata de un equipo compacto que opera en continuo, mediante un reactor de especial diseño donde se hallan las placas o electrodos metálicos para producir la electrocoagulación. En este proceso se genera una elevada carga de cationes que desestabilizan los contaminantes del agua residual, se forman hidróxidos complejos, estos tienen capacidad de adsorción produciendo agregados (flóculos) con los contaminantes. De otro lado, por la acción del gas formado se genera turbulencia y se empuja hacia la superficie los flóculos producidos.

Tras el proceso de electrocoagulación se obtiene un desecho en forma acuosa compuesto por especies químicas de hierro ligadas a arsénico. Este residuo debe de ser tratado, mediante otras técnicas convencionales, para separar la mayor parte de agua posible y obtener un subproducto con el menor volumen posible y fácil de gestionar.



La electrocoagulación es una operación sencilla que requiere de equipos relativamente simples, ya que los flóculos formados por electrocoagulación contienen poca agua superficial, son ácido-resistentes y son más estables, por lo que pueden ser separados más fácilmente por filtración. Por otra parte, se trata de una tecnología de bajo coste y que necesita poca inversión en mantenimiento.

Además de ser una técnica para el tratamiento de aguas residuales, la electrocoagulación también resulta ser un proceso muy interesante para ser aplicado previamente a una ósmosis inversa, ya que facilita el proceso de desalinización del agua a tratar [26].

### *5.3.2 Continuación y optimización del proceso para conseguir agua apta para el consumo humano:*

Los sistemas de reutilización de aguas grises pueden conseguir el ahorro de entre un 30% y un 45% de agua potable.

La reutilización del agua disminuye los costes de agua potable y aguas residuales, protege las reservas de agua subterránea y reduce la carga de las aguas residuales. Estos sistemas se pueden incorporar a cualquier edificio, y se estima que en cada hogar se pueden ahorrar unos 45 litros de agua potable y aguas residuales por persona y día.

En hoteles o instalaciones deportivas, el ahorro puede llegar a 60 litros por persona y día. La instalación de un sistema de reutilización de aguas grises para una familia de 4 personas puede rondar los 1.100 euros [27].

### *5.3.3 Guía técnica en reciclaje de aguas grises (AQUA España):*

La guía técnica en reciclaje de aguas grises está prevista ser actualizada a mediados del año 2016 en la cual se recopilará el estado del arte actual, resaltando las tecnologías y soluciones que se han contrastado como más resolutivas.

La explotación de las aguas grises se ve cada vez más como una necesidad reinante en ambientes de saturación hídrica como España, ya que se evita usar aguas de alta calidad para determinados usos que no la precisan.

El beneficio de las aguas grises y sobretodo la ratificación de las mismas en el tiempo, permiten establecer hoy ciertas recomendaciones técnicas que *AQUA ESPAÑA* recoge en su guía técnica.

La elaboración de la originaria Guía Técnica, aún vigente, precisó el marco técnico práctico de referencia para las empresas del sector, impulsando el desarrollo de buenas prácticas en la materia y con ello la caracterización de las empresas de prestigio en este sector [16].

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. R. Jiménez, La ingeniería ambiental. Entre el reto y la oportunidad., Síntesis, 2002.
- [2] J. A. S. Sastre, Tecnologías para la sostenibilidad, Madrid: Fundación EOI, 2005.
- [3] Gobierno de Cantabria, Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente, Campher, 2005.
- [4] Gobierno de la Rioja, «Proyecto Life Sinergia,» [En línea]. Available: [http://www.lifesinergia.org/formacion/curso/01b-sensibilizacion\\_medioambiental.pdf](http://www.lifesinergia.org/formacion/curso/01b-sensibilizacion_medioambiental.pdf). [Último acceso: Enero 2016].
- [5] M. E. G. y J. A. P. López, «CIDTA: Aguas residuales. Composición,» [En línea]. Available:[http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf). [Último acceso: Enero 2016].
- [6] Universidad politécnica de Madrid, «Por un sistema de saneamiento más sostenible,» 1999. [En línea]. Available: [http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/agarc\\_2.html](http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/agarc_2.html). [Último acceso: Enero 2016].
- [7] Aguamarket, «Diferencia aguas grises y aguas negras,» 2007. [En línea]. Available: <http://www.aguamarket.com/sql/temas-interes/231.asp>. [Último acceso: Enero 2016].
- [8] S. E. Manahan, Introducción a la química ambiental, Reverté, 2006.
- [9] W. G., «Toxic Metals,» *Metal Pollution in the aquatic environment*, 1981.
- [10] Twenergy, «Funcionamiento de una depuradora de aguas residuales,» [En línea]. Available: <http://twenergy.com/a/funcionamiento-de-una-depuradora-de-aguas-residuales-1299>. [Último acceso: Enero 2016].
- [11] Naciones Unidas, «Derecho del Mar,» 2011. [En línea]. Available: [http://www.un.org/depts/los/doalos\\_publications/LOSBulletins/bulletinsp/bul75sp.pdf](http://www.un.org/depts/los/doalos_publications/LOSBulletins/bulletinsp/bul75sp.pdf). [Último acceso: Enero 2016].

- [12] Organización Marítima Internacional, «Convenio y protocolo de Londres,»  
[En línea]. Available: <http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/LCLP/Paginas/Default.aspx>.  
[Último acceso: Enero 2016].
- [13] CESEDEN, «Fuerzas Armadas y Medio Ambiente,»  
[http://www.defensa.gob.es/ceseden/Galerias/destacados/publicaciones/docSegyDef/ficheros/013\\_FUERZAS\\_ARMADAS\\_Y\\_MEDIO\\_AMBIENTE.pdf](http://www.defensa.gob.es/ceseden/Galerias/destacados/publicaciones/docSegyDef/ficheros/013_FUERZAS_ARMADAS_Y_MEDIO_AMBIENTE.pdf). [Último acceso: Enero 2016].
- [14] E. Olsen, «Métodos ópticos de Analisis,» de *Diccionario de Química*, McGraw-Hill, 1986.
- [15] F. y. Wichmann, «Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses,» 2009.  
[En línea]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19251305>.
- [16] AQUA ESPAÑA, «Guía técnica para reciclaje de aguas grises,» 2011. [En línea].  
Available: <http://www.aquaespana.org/repositori/documents/actualitat/es/GUIA%20TECNICA%20ESPANOLA%20RECICLAJE%20AGUAS%20GRISES%20CS-AG%20AQUA%20ESPANA.PDF>. [Último acceso: Febrero 2016].
- [17] Definición.DE, «Absorbancia,» [En línea]. Available: <http://definicion.de/absorbancia/>.  
[Último acceso: Enero 2016].
- [18] National Academy of Sciences, «Coagulación-Floculación,»  
[En línea]. Available: <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Coagulation-Flocculation.html>. [Último acceso: Febrero 2016].
- [19] Universidad Castilla-La Mancha, «Coagulación-Floculación,»  
[En línea]. Available: [http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis\\_procesos/tema5.pdf](http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf).  
[Último acceso: Enero 2016].
- [20] D. G. A. Joly, «Calderon.cud.uvigo,» 2015. [En línea].  
Available: [http://calderon.cud.uvigo.es/bitstream/11621/30/3/TFG\\_GLEZ-ALLER%20JOLY.pdf](http://calderon.cud.uvigo.es/bitstream/11621/30/3/TFG_GLEZ-ALLER%20JOLY.pdf).  
[Último acceso: Enero 2016].
- [21] Bristhar, «Ácido cítrico (E330),» [En línea]. Available: <http://www.bristhar.com.ve/acidocitrico.html>.  
[Último acceso: Enero 2016].
- [22] Food-Info, «E325 Lactato de calcio,» [En línea]. Available: <http://www.food-info.net/es/e/e325.htm>.  
[Último acceso: Enero 2016].
- [23] Aquatracta, «Filtración,» [En línea]. Available: <http://www.aquatracta.com/Municipios.Piscinas.Filtracion.2.html>. [Último acceso: Febrero 2016].

- [24] Compostando ciencia, «Índice de germinación de Zucconi,» 1994.  
[En línea]. Available: <http://www.compostandociencia.com/2013/12/test-de-zucconi-o-indice-de-germinacion-de-un-compost-html/>. [Último acceso: Febrero 2016].
- [25] A. Calpena, «Detegasa, Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales en buques militares,» Febrero 2013. [En línea]. Available: <http://www.defensa.com/frontend/defensa/detegasa-tecnologias-para-tratamiento-aguas-residuales-buques-vn8306-vst156>. [Último acceso: Marzo 2016].
- [26] Condorchem Envitech, «Electrocoagulación, un tratamiento económico y eficaz para las aguas residuales,» 2014. [En línea]. Available: <http://blog.condorchem.com/electrocoagulacion-aguas-residuales/>. [Último acceso: Marzo 2016].
- [27] Eroski consumer, «Reutilización de aguas grises,» 2006. [En línea]. Available: [http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/urbano/2006/02/14/149371.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2006/02/14/149371.php). [Último acceso: Marzo 2016].

## **ANEXO I: NORMAS DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL LABORATORIO DE QUÍMICA DEL EDIFICIO ISAAC PERAL.**

### **NORMAS PERSONALES:**

1. Cada grupo se responsabilizará de su zona de trabajo y de su material.
2. La utilización de la bata es obligatoria, ya que evita que posibles proyecciones de sustancias químicas lleguen a la piel.
3. Si se tiene el pelo largo, llevarlo recogido o metido en la ropa, así como no llevar colgantes. En caso de llevar corbata evitar que cuelgue y se pueda enganchar.
4. En el laboratorio no se podrá fumar, ni tomar bebidas ni comidas.
5. No se podrá correr ni jugar con el material ni con los reactivos.

### **NORMAS REFERENTES AL ORDEN:**

6. Las sustancias tóxicas permanecerán en armario con llave.
7. Es imprescindible la limpieza del laboratorio, de su instrumental y utensilios, así como que esté ordenado.
8. En las mesas de laboratorio o en el suelo, no pueden depositarse prendas de vestir, apuntes, etc., que pueden entorpecer el trabajo.

### **NORMAS REFERENTES A LA UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS:**

9. Antes de utilizar un determinado compuesto, asegurarse bien de que es el que se necesita; para ello leeremos, si es preciso un par de veces, el rótulo que lleva el frasco.
10. Como regla general, no coger ningún producto químico. El profesor los proporcionará.
11. No devolver nunca a los frascos de origen los sobrantes de los productos utilizados sin consultar al profesor.
12. Es de suma importancia que cuando los productos químicos de desecho se viertan en las pilas de desagüe, aunque estén debidamente neutralizados, enseguida circule por el mismo abundante agua.
13. No tocar con las manos, y menos con la boca, los productos químicos.
14. No pipetear con la boca los productos abrasivos. Utilizar la bomba manual o una jeringuilla.
15. Los ácidos requieren un cuidado especial. Cuando queramos diluirlos, nunca echaremos agua sobre ellos; siempre al contrario, es decir, ácido sobre el agua.
16. Los productos inflamables no deben estar cerca de fuentes de calor, como estufas, hornillos, radiadores, etc.
17. Cuando se vierta cualquier producto químico debe actuarse con rapidez, pero sin precipitación.
18. Si se vierte sobre ti cualquier ácido o producto corrosivo, lávate inmediatamente con mucha agua y avisar al profesor.
19. Al preparar cualquier disolución, se colocará en un frasco limpio y rotulado convenientemente.

### **NORMAS REFERENTES A LA UTILIZACION DEL MATERIAL DE VIDRIO:**

20. Cuidado con los bordes y puntas cortantes de tubos u objetos de vidrio. Alisarlos al fuego. Mantenerlos siempre lejos de los ojos y de la boca.
21. El vidrio caliente no se diferencia a simple vista del vidrio frío. Para evitar quemaduras, dejarlo enfriar antes de tocarlo (cobre ladrillo, arena, planchas de material aislante,...).
22. Las manos se protegerán con guantes o trapos cuando se introduzca un tapón en un tubo de vidrio.

#### NORMAS REFERENTES A LA UTILIZACION DE BALANZAS:

23. Cuando se determinan masas de productos químicos con balanza, se colocará papel de filtro sobre los platos de la misma y, en ocasiones, será necesario el uso de un “vidrio de reloj” para evitar el ataque de platos por parte de sustancias corrosivas.
24. Se debe evitar cualquier perturbación que conduzca a un error, como vibraciones debidas a golpes, aparatos en funcionamiento, soplar sobre los platos de la balanza, etc.

#### NORMAS REFERENTES A LA UTILIZACION DE GAS:

25. El uso del gas butano requiere un cuidado especial: si se advierte su olor, cerrar la llave y avisar al profesor.
26. Si se vierte un producto inflamable, córtese inmediatamente la llave general de gas y ventilar muy bien el local.

#### NORMAS REFERENTES A LA INSTALACIÓN:

27. Las ventanas y puertas han de abrir adecuadamente, ya que en caso de humos excesivos es necesaria la máxima ventilación y en caso de incendio, la mínima.
28. Las mesas, sillas, taburetes, suelos, etc., y el mobiliario en general deben estar en buen estado para evitar accidentes.
29. Los grifos de agua y los desagües no deben tener escapes que hagan resbaladizo el suelo y pudran la madera. Los desagües deben permitir bien el paso de agua,
30. Los enchufes o cables eléctricos no deben estar rotos o pelados; en caso de que sea así deben sustituirse inmediatamente o proteger para que no puedan tocarse. Nunca deben ir por el suelo de forma que se puedan pisar.
31. Los armarios y estanterías deben ofrecer un almacenamiento para aparatos y productos químicos y estar siempre en perfecto orden.

#### SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS:

Las sustancias químicas se clasifican, en función de su peligrosidad, en:

- Explosivos: sustancias y preparados que puedan explosionar bajo el efecto de una llama.
- Comburentes: sustancias y preparados que, en contacto con otros, particularmente con los inflamables, originan una reacción fuertemente exotérmica.

- Extremadamente inflamable: sustancias y productos químicos cuyo punto de ignición sea inferior a 0° C, y su punto de ebullición inferior o igual a 35°C.
- Fácilmente inflamables. Se definen como tales:
  - Sustancias y preparados que, a la temperatura ambiente, en el aire y sin aporte de energía, puedan calentarse e incluso inflamarse.
  - Sustancias y preparados en estado líquido con un punto de ignición igual o superior a 0°C e inferior a 21°C.
  - Sustancias y preparados sólidos que puedan inflamarse fácilmente por la acción breve de una fuente de ignición y que continúen quemándose o consumiéndose después del alejamiento de la misma.
  - Sustancias y preparados gaseosos que sean inflamables en el aire a presión normal.
  - Sustancias y preparados que, en contacto con el agua y el aire húmedo, desprendan gases inflamables en cantidades peligrosas.
- Inflamables: sustancias y preparados cuyo punto de ignición sea igual o superior a 21°C e inferior a 55°C.
- Muy tóxicos: sustancias y preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea puedan entrañar riesgos graves, agudos o crónicos, e incluso la muerte.
- Nocivos: sustancias y preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea puedan entrañar riesgos de gravedad limitada.
- Corrosivos: sustancias y preparados que en contacto con los tejidos vivos puedan ejercer sobre ellos una acción destructiva.
- Irritantes: sustancias y preparados no corrosivos que por contacto inmediato, prolongado o repetido con la piel o mucosas puedan provocar una reacción inflamatoria.
- Peligrosos para el medio ambiente: sustancias y preparados cuya utilización presente o pueda presentar riesgos inmediatos o diferidos para el medio ambiente.
- Carcinógenos: sustancias y preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea puedan producir cáncer o aumento de su frecuencia.
- Teratogénicos: sustancias y preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea puedan inducir lesiones en el feto durante su desarrollo intrauterino.
- Mutagénicos: sustancias y preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea puedan producir alteraciones en el material genético de las células.

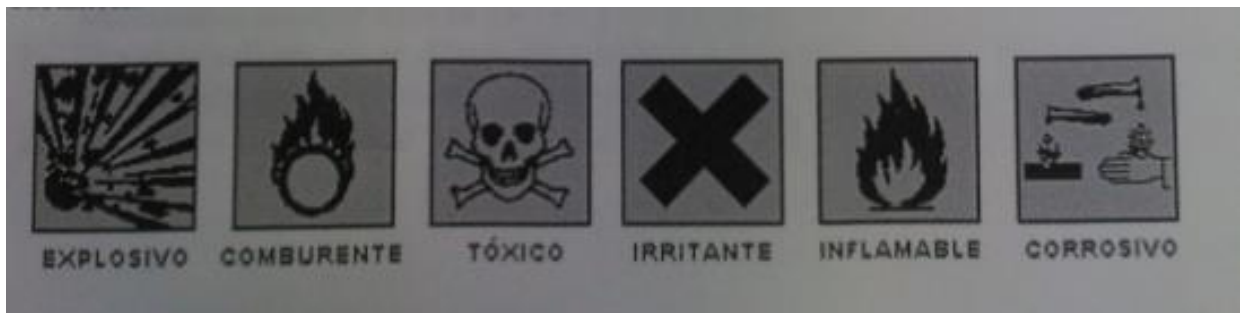


Figura 6-0-1 Etiquetado mediante símbolos para captar la atención