

**UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA**

**ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA**

**I.T. FORESTAL ESP. EXPLOTACIONES FORESTALES**

---



**UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA**



**ESCUELA POLITECNICA  
SUPERIOR DE GANDIA**

# **“Estudio para la minimización del residuo de colillas de tabaco y su posible reutilización”**

**TRABAJO FINAL DE  
CARRERA**

Autor:  
**Jose Carlos Monzonis Marco**

Director:  
**Juan Andrés González Romero**

**GANDIA, 2011**

|  |    |
|--|----|
| <b>1 - INTRODUCCION</b> .....  | 3  |
| <b><u>1.1 - Tabaco: composición, residuos, impacto y minimización</u></b> .....  | 3  |
| 1.1.1 – Composición de la columna de tabaco .....  | 4  |
| 1.1.2 – Composición del filtro.....  | 5  |
| 1.1.3 – Residuos generados .....   | 7  |
| 1.1.4 – Impacto ambiental de los residuos .....  | 8  |
| 1.1.5 – Minimización del residuo .....   | 9  |
| <b><u>1.2 – Adsorción química y cambio iónico</u></b> .....  | 13 |
| 1.2.1 – Adsorción química .....  | 13 |
| 1.2.2 – Cambio iónico .....  | 16 |
| 1.2.3 – Aplicaciones de la adsorción .....   | 17 |
| <b><u>1.3- Contaminación de aguas</u></b> .....  | 18 |
| 1.3.1 – Contaminación asociada a la alcalinidad y acidez del agua .....  | 21 |
| 1.3.2 – Contaminación asociada a la presencia de compuestos nitrogenados en el agua .....  | 22 |
| 1.3.3 – Contaminación asociada a la presencia de metales pesados.....  | 26 |
| 1.3.4 – Contaminación asociada a la salinidad del agua .....   | 32 |
| <b>2 – OBJETIVOS</b> .....   | 35 |
| <b>3 – MATERIAL Y METODOS</b> .....  | 36 |
| <b><u>3.1 – Clasificación de los equipos, materiales y reactivos utilizados</u></b> .....  | 36 |
| <b><u>3.2 – Métodos de análisis</u></b> .....  | 37 |
| 3.2.1 – Fundamentos de los métodos de análisis utilizados .....  | 37 |
| 3.2.1.1 – <b>Demanda química de oxígeno</b> .....  | 38 |
| 3.2.1.2 – <b>Medición de nitratos</b> .....  | 39 |
| 3.2.1.3 – <b>Espectroscopia de absorción atómica</b> .....   | 39 |
| 3.2.1.4 – <b>Conductividad</b> .....   | 42 |
| 3.2.1.5 – <b>Acidez</b> .....  | 43 |
| 3.2.2 – Metodología experimental.....  | 44 |
| 3.2.2.1 – <b>Demanda química de oxígeno</b> .....  | 44 |
| 3.2.2.2 – <b>Medición de nitratos</b> .....  | 45 |
| 3.2.2.3 – <b>Espectroscopia de absorción atómica</b> .....   | 45 |
| 3.2.2.4 – <b>Conductividad</b> .....   | 47 |
| 3.2.2.5 – <b>Acidez</b> .....  | 47 |
| <b><u>3.3 – Diseño y procedimiento experimental</u></b> .....  | 48 |
| 3.3.1 – Diseño de ensayos experimentales.....  | 48 |
| 3.3.1.1 – <b>Limpieza de colillas</b> .....  | 48 |
| 3.3.1.2 – <b>Ensayo en discontinuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbente de nitratos</b> ..... | 50 |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.3.1.3 – Ensayo en discontinuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como reguladores del pH del agua.....             | 50        |
| 3.3.1.4 – Ensayo en discontinuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de zinc.....                     | 51        |
| 3.3.1.5 – Ensayo en continuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como regulador de la conductividad .....             | 52        |
| 3.3.1.6 – Ensayo en continuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de zinc.....                        | 53        |
| 3.3.2 – Procedimiento experimental utilizado .....  | 54        |
| 3.3.2.1 – Limpieza de colillas.....   | 54        |
| 3.3.2.2 - Ensayo en discontinuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbente de nitratos .....                 | 55        |
| 3.3.2.3 – Ensayo en discontinuo para el estudio de los filtros de acetato de celulosa como reguladores del pH del agua.....                               | 56        |
| 3.3.2.4 – Ensayo en discontinuo para el estudio de los filtros de acetato de celulosa como adsorbente de zinc .....                                       | 56        |
| 3.3.2.5 – Ensayo en continuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como regulador de la conductividad .....             | 57        |
| 3.3.2.6 – Ensayo en continuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de zinc.....                        | 58        |
| <b>4 – RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>  | <b>59</b> |
| <b><u>4.1 – Limpieza de colillas.....</u></b>   | <b>59</b> |
| <b><u>4.2 – Ensayo en discontinuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de nitratos .....</u></b>      | <b>61</b> |
| <b><u>4.3 – Ensayo en discontinuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como reguladores del pH .....</u></b>           | <b>65</b> |
| <b><u>4.4 – Ensayo en discontinuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de zinc .....</u></b>          | <b>67</b> |
| <b><u>4.5 – Ensayo en continuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como reguladores de la conductividad .....</u></b> | <b>70</b> |
| <b><u>4.6 – Ensayo en continuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de zinc .....</u></b>             | <b>74</b> |
| <b>5 – CONCLUSIONES .....</b>   | <b>78</b> |
| <b>6 – BIBLIOGRAFIA.....</b>  | <b>80</b> |

# 1 - INTRODUCCION

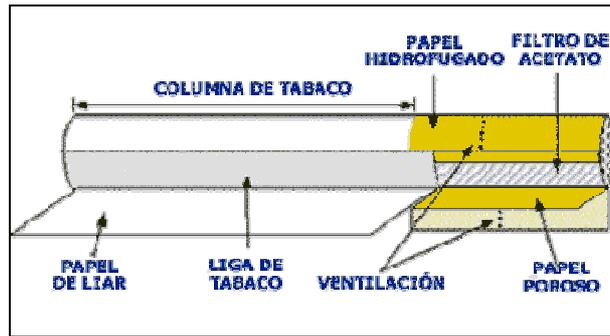
Para poder comprender mejor la problemática que conlleva la realización de este estudio, en primer lugar debemos conocer la verdadera composición de los cigarrillos, las cantidades de los mismos que hay en el mundo y como los residuos que estos generan interaccionan con el medio que los rodea y pueden producir diferentes clases de contaminación. Al mismo tiempo se plantearan una serie de actuaciones para minimizar el impacto de estos residuos y darle una utilidad a los mismos como filtros para la limpieza de aguas contaminadas.

## **1.1 - Tabaco: composición, residuos, impacto y minimización**

El tabaco es un producto vegetal obtenido de las hojas de varias plantas del género *Nicotiana*, (en concreto *Nicotiana tabacum*). Se consume de varias formas, siendo la principal fumada. Su particular contenido en nicotina la convierte en adictiva. Se comercializa legalmente en todo el mundo aunque tiene numerosas restricciones para ser fumada en muchos países ya que posee efectos adversos para la salud pública.

Su composición está formada por el alcaloide nicotina, que se encuentra en las hojas en proporciones variables (desde menos del 1% hasta el 12%). El resto es el llamado alquitrán, una sustancia oscura y resinosa compuesta por varios agentes químicos, muchos de los cuales se generan como resultado de la combustión (cianuro de hidrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxido de nitrógeno, amoníaco, etc.)

Actualmente la mayoría del tabaco se consume en forma de cigarrillos, consisten en una mezcla de tabacos picados en papel de liar. En la mayoría de los casos, hay un filtro unido por medio del papel que se denomina papel hidrofugado.



*Ilustración 1: Partes del cigarrillo*

### 1.1.1 – Composición de la columna de tabaco

En las cajetillas de cigarrillos podemos encontrar una leyenda con la composición básica de los cigarrillos, donde destacan alquitrán (alrededor de 10mg), nicotina (sobre 0.9 mg) y monóxido de carbono (10mg). Según Philip Morris además de la varilla de tabaco, los cigarrillos tienen componentes ajenos al tabaco, que consisten en materiales que compra a proveedores independientes, muchos de los cuales consideran que los ingredientes de sus materiales son secretos comerciales valiosos. Los materiales ajenos al tabaco utilizados en una marca en particular pueden variar dependiendo de la fábrica, la maquinaria en particular utilizada y el proveedor.

Altadis facilita una lista de los ingredientes añadidos al tabaco de todas las marcas producidas y que se vendieron en la unión europea a lo largo del año 2006, pero solo incluye los cigarrillos que dicha tabacalera fabrica.

Se han realizado numerosos estudios sobre la composición de los cigarrillos y sobre el humo que desprenden, y en estos estudios se ha revelado que los cigarrillos contienen numerosos elementos tóxicos e incluso cancerígenos. Entre los elementos encontrados en estos estudios destacan los siguientes:

En la picadura de tabaco se han encontrado: Al, As, Ba, Br, Ca, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Mg, Mn, Na, Ni, Rb, Sb, Sc, Se, Sr, Th, Ti, V y Zn.

Mientras que en los análisis del humo se presentan: Acetaldehído, Acrilonitrilo, 4-Amino bifenil, o-Anisidina hidrocloreto, Arsénico, Benceno, Berilio, 1,3 Butadieno, Cadmio, 1,1-Dimetil hidracina, Óxido de etileno, Formaldehído, Furano, Aminas heterocíclicas, Hidracina, Isopreno, Plomo, 2-Naftilamina, Nitrometano, Compuestos nitrogenados, Naftalina, Fluoreno, Níquel y Mercurio.

Muchas de estas sustancias son bioacumulables y persisten en la cadena trófica, o pueden llegar a filtrarse en el suelo y contaminar los acuíferos. [Iskander y colab. 1986].

### 1.1.2 – Composición del filtro

El filtro de los cigarrillos esta constituido de acetato de celulosa, que se produce al hacer reaccionar la celulosa con el ácido acético.

El acetato de celulosa es un material termoplástico relativamente duro y brillante, incoloro, transparente y amorfo con una buena claridad, estabilidad a los rayos UV y resistencia química moderadas.

Características del acetato de celulosa:

| <b>Propiedades Eléctricas</b>                   |                      |
|---|----------------------|
| Constante Dieléctrica @1MHz                     | ~5                   |
| Factor de Disipación a 1 KHz.                   | 0,06                 |
| Resistencia Dieléctrica ( kV mm <sup>-1</sup> ) | 11                   |
| Resistividad de Volumen ( Ohmcm )               | 5 x 10 <sup>12</sup> |
| <b>Propiedades Físicas</b>                      |                      |
| Absorción de Agua - en 24 horas ( % )           | 1,9-7,0              |
| Densidad ( g cm <sup>-3</sup> )                 | 1,3                  |
| Índice Refractivo                               | 1,49                 |
| Índice de Oxígeno Límite ( % )                  | 19                   |
| Inflamabilidad                                  | HB                   |
| Resistencia a la Radiación                      | Aceptable            |
| Resistencia a los Ultra-violetas                | Aceptable            |
| <b>Propiedades Mecánicas</b>                    |                      |

|   |                 |
|---|-----------------|
| Dureza - Rockwell   | 34-125          |
| Módulo de Tracción ( GPa )  | 1,0-4,0         |
| Resistencia a la Abrasión - ASTM D1044 ( mg/1000 ciclos )               | 65              |
| Resistencia a la Tracción ( MPa )                                       | 12-110          |
| Resistencia al Impacto Izod ( J m <sup>-1</sup> )                       | 100-450         |
| <b>Propiedades Térmicas</b>   |                 |
| Calor Específico ( J K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )                 | 1200-1900       |
| Coefficiente de Expansión Térmica ( x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ) | 80-180          |
| Conductividad Térmica a 23C ( W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )       | 0,16-0,36       |
| Temperatura Máxima de Utilización ( C )                                 | 55-95           |
| Temperatura Mínima de Utilización ( C )                                 | -20             |
| Temperatura de Deflexión en Caliente - 0.45MPa(C)                       | 52-105          |
| Temperatura de Deflexión en Caliente - 1.8MPa(C)                        | 48-86           |
| <b>Resistencia Química</b>  |                 |
| Ácidos - concentrados   | Mala            |
| Ácidos - diluidos   | Buena-Mala      |
| Álcalis   | Mala            |
| Alcoholes   | Aceptable-Buena |
| Cetonas   | Mala            |
| Grasas y Aceites  | Buena           |
| Halógenos   | Mala            |
| Hidro-carbonios halógenos   | Buena-Mala      |
| Hidrocarburos Aromáticos  | Buena-Mala      |

**Tabla 1:** Características físico-químicas del acetato de celulosa

El filtro fue concebido con una función principal, retener el alquitrán y el resto de productos perjudiciales, tanto los que lleva el tabaco como los producidos en la combustión del cigarrillo, antes de que lleguen a los pulmones de los fumadores. [Novotny y colab.2009.]

### 1.1.3 – Residuos generados

Debido a esa función las colillas de cigarrillos son una fuente de contaminación para el medio ambiente ya que al año se producen unos 5.5 trillones (unidad americana de trillón que equivale a un millón de millones) de cigarrillos en el mundo. La mayoría de los cuales tienen filtros de acetato de celulosa.

Según un estudio realizado en Inglaterra en el año 2004 las colillas de cigarrillos suponen el 33.3% de la basura generada en el país, además de estar localizados en el 38.5% de las localizaciones de estudio (tipo de basura mas abundante). [Encamps.2004]

La ley que regula los residuos en la Comunidad Valenciana es la 10/2000 del 12 de Diciembre, donde se definen tanto el objeto como el objetivo de la ley de residuos, los ámbitos de aplicación, definiciones, regímenes jurídicos, principios de actuación administrativa, financiación, planificación y gestión de los residuos en 82 artículos.

La Ley de Residuos de la Comunidad Valenciana se enmarca en la normativa comunitaria, que responde a esta evolución, y en concreto en lo dispuesto en la Directiva 75/442/CEE, de 15 de julio, relativa a los residuos, modificada por la Directiva 91/156/CEE, de 18 de marzo, que proporciona el marco jurídico para la definición, prevención en la producción y gestión de residuos; la Directiva 91/689/CEE, de 12 de diciembre, relativa a los residuos peligrosos, que establece un mayor control y vigilancia para éstos; el Reglamento 259/93/CEE, del Consejo, de 1 de febrero, relativo a la vigilancia y al control de los traslados de residuos en el interior, a la entrada y a la salida de la Comunidad Europea, y la Directiva 1999/31/CE, de 26 de abril, que regula el vertido de residuos, que sin haber sido transpuesta por el Estado se incorpora ya al texto legal valenciano.

El Estado ha transpuesto al derecho interno español el resto de las normas citadas por medio de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos,

dictada con carácter básico, y que ha supuesto la adecuación del ordenamiento jurídico español a los principios derivados de estas normas comunitarias, estableciendo una norma común para todos ellos, que podrá ser completada con una regulación específica para determinadas categorías de residuos.

En el marco del mandato global de protección del artículo 45 de la Constitución Española, la competencia legislativa de la Generalitat sobre la materia viene establecida en el apartado 6 del artículo 32 del Estatuto de Autonomía de la Comunidad Valenciana, aprobado por la Ley Orgánica 5/1982, de 1 de julio, y en el apartado 1.23 del artículo 149 de la Constitución Española, de dictar normas adicionales de protección, así como en el artículo 31.9 del Estatuto de Autonomía de la Comunidad Valenciana, en que se atribuye a la Generalitat la competencia exclusiva en materia de ordenación del territorio, urbanismo y vivienda.

La Generalitat ostenta competencias sobre el régimen jurídico de la producción y gestión de los residuos, destacando la mayor intervención respecto de los peligrosos, de conformidad con la normativa básica estatal.

Asimismo coordina mediante los diferentes planes autonómicos de residuos todas las actuaciones que desarrollen en materia de gestión de residuos, y colabora con las administraciones locales para lograr una adecuada prestación de los servicios de su competencia.

#### 1.1.4 – Impacto ambiental de los residuos

Los filtros de acetato de celulosa no son biodegradables, tardan entre 7 y 12 años en ser degradados en el medio ambiente, y durante todo ese tiempo van liberando las sustancias que han retenido durante la combustión del cigarrillo. Además cabe añadir el impacto visual que generan, por ser una de las basuras más abundantes y presente en prácticamente todas las localizaciones donde se encuentra el ser humano.

### 1.1.5 – Minimización del residuo

Actualmente las empresas se enfrentan a exigencias legislativas cada vez más estrictas para la eliminación de determinadas sustancias y la generación de residuos. Surge la necesidad de dar una salida viable a los productos residuales de manera que el impacto sobre el medio ambiente pueda reducirse.

La minimización de residuos, emisiones y vertidos de un proceso productivo en una industria, es la adopción de medidas organizativas y operativas que permitan disminuir la cantidad y peligrosidad de los subproductos y contaminantes generados, que precisan un tratamiento o eliminación final.

Todo ello se consigue por medio de su reducción en el origen y, cuando ésta no es posible, mediante el reciclaje de los subproductos en el mismo proceso de producción o en otros diferentes, o bien mediante la recuperación de determinados componentes o recursos de los que contienen.

Basándonos en la definición de la ONU podemos decir que una “tecnología limpia” es un proceso de fabricación o una tecnología integrada en el proceso de producción, concebido para reducir, durante el propio proceso, la generación de residuos contaminantes.

Una tecnología limpia es aquella que utiliza las materias primas de una forma más óptima y que genera menos residuos. La característica que distingue a las tecnologías limpias de las tecnologías de tratamiento curativo es el hecho de que el tratamiento no es exterior al proceso, sino que está integrado en él.

Por tanto, estas tecnologías previenen la contaminación en las fuentes de producción (reducción en origen), mientras que los tratamientos clásicos se aplican al final de la cadena de producción o en una etapa intermedia, pero siempre tras la descarga.

Las técnicas de minimización de residuos incluyen las tecnologías limpias y, además, una serie de actuaciones que tienden a reducir la cantidad o la peligrosidad de los residuos generados, a disminuir la necesidad de tratamiento final y a la conservación de los recursos.

La rentabilidad de las técnicas de minimización es muy importante para los empresarios, pero aunque su implantación puede conllevar gastos, en ocasiones, altos de adquisición de equipos y de transformación del proceso, en general, estas inversiones son más rentables que la construcción de una depuradora, de un vertedero o de una incineradora.

Las técnicas de minimización de residuos se pueden aplicar a cualquier tipo de material residual independientemente del medio receptor, es decir agua, aire y suelo y, en general, no se basan necesariamente en tecnologías punteras y/o que requieran grandes inversiones.

Básicamente debe estudiarse la tecnología utilizada por cada industria en particular, para conocer si es la adecuada y si prevé el problema de producción de contaminación.

Deben realizarse las recomendaciones oportunas para la utilización de tecnologías limpias y buscar soluciones para la reutilización de los recursos recuperables.

Existen dos formas para lograr los objetivos de minimización de residuos:

a) Diseñando nuevos procesos productivos o modificando los existentes, de forma que los residuos generados sean los menos posibles e incrementando de esta forma la eficacia del proceso.

b) Reutilizando o reciclando residuos en el propio proceso, en otro proceso y después de utilizar el producto final.

Atendiendo al principio básico de no generación de residuos, los planteamientos operativos pueden clasificarse en estos tres grandes grupos:

- A. reducción en el origen
- B. técnicas de reciclaje en el sitio
- C. técnicas alternativas.

#### A. Reducción en el origen:

En el caso que estudiamos, las colillas de cigarrillo, la reducción en el origen es prácticamente imposible ya que la gran mayoría de fumadores consume cigarrillos con filtro, que además previenen la inhalación de ciertas sustancias peligrosas para la salud. El único modo de reducir la cantidad de filtros de acetato de celulosa en el origen, sería produciendo menor cantidad de cigarrillos, cosa inviable ya que la demanda se mantiene.

#### B. Técnicas de reciclaje:

Una vez generado un residuo, la mejor manera de evitar su impacto negativo sobre el medio ambiente es volver a utilizarlo, reintegrándolo de esta manera en el ciclo económico.

Esta técnica permite disminuir los costos de materias primas y proporcionar ingresos por la venta de residuos. La eficacia se da por la capacidad de segregación.

En ambos casos el material residual pierde su condición estricta de residuo, convirtiéndose en un subproducto industrial susceptible de aprovechamiento.

Se entiende por reciclaje el aprovechamiento total o parcial de los residuos industriales para su reutilización en el propio proceso.

La reutilización consiste en el aprovechamiento parcial o total de un residuo industrial para su nueva utilización en un proceso distinto, en la misma planta.

Por su parte, la recuperación consiste en la extracción de sustancias o recursos valiosos contenidos en los subproductos y en el aprovechamiento de la energía que puedan contener (normalmente con un tratamiento previo importante), para su utilización con otro fin.

En los procesos de reciclaje no suele poder aprovecharse el cien por ciento del material residual, sino únicamente una parte que, por técnicas diversas, se separa del resto. Este resto, normalmente, posee unas características no deseadas del material original.

### C. Técnicas alternativas:

La utilización de las técnicas alternativas de minimización debe hacerse únicamente cuando no sean factibles la reducción en el origen o las técnicas de reciclaje en el emplazamiento.

Estas técnicas alternativas se refieren a la recuperación o al reciclado fuera de la planta, y se recurre a ellas cuando la planta no tiene equipo disponible, cuando no se producen suficientes residuos que hagan rentable la instalación de un sistema de tratamiento, o cuando el material recuperado no puede ser reutilizado en el proceso.

En este caso, los residuos son retirados por una empresa externa, distinguiéndose dos modalidades:

- El residuo es útil como materia prima o segunda materia en otra empresa externa, la cual esta dispuesta a invertir dinero en él. En este caso el residuo o emisión se convierte en un subproducto, que es vendido a dicha empresa externa.
- Se paga a un gestor de residuos para que lo retire y lo trate o regenere en sus instalaciones.

La minimización de residuos como herramienta ambiental, además de mejorar la calidad del medio ambiente y contribuir a la conservación de recursos, es rentable para la industria. Para que un programa de minimización

sea eficaz se debe basar en un conocimiento de los residuos generados y en la aplicación de los métodos de reducción de residuos en cada caso. Es así como un programa de minimización de residuos permite a la empresa organizar sus medios humanos y técnicos con el objetivo de sustituir, en la medida de lo posible, la gestión clásica de residuos.

Dado que la corriente residual generada por el tabaco es muy elevada y que su persistencia en el medioambiente es bastante prolongada, se pretende estudiar la posible minimización del peligro medioambiental que suponen las colillas de cigarrillo, así como proponer una posible valorización del producto, aprovechando los recursos contenidos en los residuos para su posterior utilización en alguna actividad que no suponga peligro para la salud humana ni daños medioambientales. En nuestro caso la opción más viable es la recuperación para un uso diferente del que tenía en el proceso productivo que los genera.

Entre los usos más destacados del acetato de celulosa destacan: monturas de gafas, mangos de herramientas, pinceles, barnices a base de celulosa, material de embalaje, juguetes, accesorios de automóvil, tejidos sintéticos (como forros internos) y diferentes clases de filtros. [DAOM]

## **1.2 – Adsorción química y cambio iónico**

La adsorción química y el cambio iónico son procesos de separación sólido-líquido, es decir, procesos en los que algunos componentes disueltos en un líquido son selectivamente transferidos a la superficie de un sólido.

### **1.2.1 – Adsorción química**

El término sorción incluye tanto la adsorción como la absorción, siendo un proceso en el que un componente se desplaza desde una fase para

acumularse en otra, siendo los mas comunes aquellos en los que la segunda fase es sólida.

La adsorción se produce como resultado de carácter liofóbico, es decir no afín, del soluto respecto al disolvente en particular o debido a una afinidad elevada del soluto por el sólido. Aunque también puede producirse por una acción combinada de los dos casos.

El factor que determina la mayor o menor afinidad de un soluto respecto al disolvente es el grado de solubilidad. Cuanto mayor es la compatibilidad química entre la sustancia y su disolvente, menor es la posibilidad de que esta sea adsorbida.

Se conocen gran numero de adsorbentes, pero su coste es elevado y por ello se continua investigando para encontrar adsorbentes naturales o sintéticos de menor coste.

En este caso vamos a estudiar los filtros de acetato de celulosa de los cigarrillos como adsorbentes, una vez limpios de los restos del consumo del tabaco.

#### Tipos de adsorción:

- Adsorción por intercambio: es la adsorción que tiene lugar en el intercambio iónico. Es un proceso en el que determinados iones se concentran en una superficie como resultado de la atracción electrostática por los centros cargados de la superficie.
- Fuerzas de Wan der Waals: denominada también adsorción física. En estos casos la molécula adsorbida no esta fija a un centro activo, sino que puede moverse libremente por la superficie o dentro de la interfase.
- Adsorción química: conocida como quimisorción, recibe este nombre cuando el adsorbato sufre una interacción química con el adsorbente. Se producen unos enlaces fuertes en los centros activos del adsorbente.

La mayor parte de los procesos de adsorción son combinaciones todos los tipos de adsorción.

#### Factores que influyen en la adsorción:

- Superficie específica: la capacidad de adsorción de un adsorbente es directamente proporcional a su superficie específica; así pues cuanto más finamente dividido y poroso sea el adsorbente mayor será la adsorción.
- Naturaleza del adsorbato: el grado de afinidad del soluto por el disolvente influye mucho en el equilibrio de la adsorción. El grado de adsorción de un soluto se puede considerar inversamente proporcional a su solubilidad en un disolvente.
- El tamaño molecular también es importante, así la reacción será mas rápida cuanto menor sea el tamaño de la partícula.
- pH: es la variable mas estudiada en adsorción, debido a que el pH determina el grado de ionización de los compuestos. En muchos casos la adsorción aumenta al disminuir el pH, debido a la neutralización de las cargas.
- Temperatura: influye en la medida que las reacciones de adsorción son normalmente exotérmicas y por tanto, el grado de adsorción será presumiblemente mayor, al disminuir la temperatura, aunque las variaciones normales de temperatura sólo tienen pequeños efectos sobre el proceso de adsorción.
- Concentración del metal y la carga: la carga describe la extensión por la cual el número total de sitios de adsorción están ocupados por el adsorbente.

- Competición entre iones y fuerza iónica: los iones compiten entre si para ubicar la adsorción. La disminución de la adsorción debido al aumento de la concentración de un electrolito se atribuye a efectos de la fuerza iónica.
- Naturaleza del adsorbente: la naturaleza del adsorbente tiene gran importancia en la velocidad y capacidad de adsorción.
- Tiempo: la variable tiempo depende del tipo de reacción que se lleve a cabo. Podemos encontrar tiempos de reacción cortos, toda la reacción se lleva a cabo en el periodo inicial, o largos que pueden durar varios días.

A la hora de diseñar un tratamiento de adsorción con cualquier adsorbente es de vital importancia el sistema utilizado para poner el adsorbente en contacto con la solución a tratar. En nuestro caso vamos a llevar a cabo dos tipos de experimentos, uno en discontinuo (Batch), poniendo en contacto los filtros de acetato de celulosa con diferentes disoluciones y retirándolos una vez alcanzado el tiempo de espera.

Y en flujo continuo, situando los filtros de acetato de celulosa en una columna por la que hacemos pasar la disolución.

### 1.2.2 – Cambio iónico

Reacción de química de sustitución en la que un ion es desplazado por otro del mismo signo. Normalmente se trata de la sustitución de iones de una disolución por los iones de una fase fija sólida o sustrato, resultando una transferencia mutua hasta que se alcanza un equilibrio en el que una cierta cantidad de los iones de la disolución son retenidos por el sustrato y el mismo número de iones, que anteriormente pertenecían a la fase sólida, han pasado a la disolución.

En general, la fuerza de enlace de los cationes depende de su valencia, tamaño efectivo e hidratación, y de las características del adsorbente.

En principio, los iones de igual carga son adsorbidos con igual fuerza sobre la superficie sólida cargada; en la práctica, sin embargo, el radio hidratado determina la fuerza de adsorción, siendo más fuertemente retenidos los de menor radio hidratado.

Hay que tener en cuenta que la hidratación es directamente proporcional a la carga del ión e inversamente proporcional al radio iónico.

Por otra parte, los iones multivalentes se concentran en la doble capa preferentemente sobre los monovalentes. Es decir, los iones divalentes son adsorbidos más fuertemente que los monovalentes. Esta selectividad, que favorece la adsorción de cationes de mayor carga, decrece con el incremento de la fuerza iónica en la solución, mientras que la dilución favorece la retención de los iones de mayor carga. Todo ello puede condicionar de manera importante el proceso de intercambio iónico en un agua salinizada.

### 1.2.3 – Aplicaciones de la adsorción

La adsorción es un proceso químico que se aplica sobretodo para purificar corrientes líquidas o gaseosas, o limpiarlas de sólidos suspendidos en ellas. En éste, uno o más componentes de una corriente se adsorben en la superficie de un sólido por adherencia y se lleva a cabo una separación.

El sólido más utilizado es el carbón activo, bien en polvo o granulado, éste se fabrica a partir de una extensa variedad de materiales de activación carbónicos, como pueden ser carbones (antracita, lignita, etc.), maderas, cáscaras de cacahuete o turba

### **1.3- Contaminación de aguas**

La Organización Mundial de la Salud define a la polución de las aguas dulces de la siguiente manera: *"Debe considerarse que un agua está polucionada, cuando su composición o su estado están alterados de tal modo que ya no reúnen las condiciones a una u otra o al conjunto de utilidades a las que se hubiera destinado en su estado natural"*.

La OMS ha establecido, también, los límites máximos para la presencia de sustancias nocivas en el agua de consumo humano:

| <b>Sustancias</b> | <b>Concentración máxima (mg/l)</b> | <b>Sustancias</b> | <b>Concentración máxima (mg/l)</b> |
|-------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| Sales totales     | 2000                               | Arsénico          | 0,05                               |
| Cloruros          | 600                                | Cadmio            | 0,01                               |
| Sulfatos          | 300                                | Cianuros          | 0,05                               |
| Nitratos          | 45                                 | Plomo             | 0,1                                |
| Nitritos          | No debe haber                      | Mercurio          | 0,001                              |
| Amoniaco          | 0,5                                | Selenio           | 0,01                               |
| Materia orgánica  | 3                                  | PAHs              | 0,0002                             |
| Calcio            | 80                                 | Biocidas          | No hay datos                       |
| Magnesio          | 50                                 |                   |                                    |

*Tabla 2: concentración máxima de sustancias nocivas en el agua de consumo humano*

De acuerdo a la definición que da la OMS para la contaminación debe considerarse también, tanto las modificaciones de las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, que pueden hacer perder a ésta su potabilidad para el consumo diario o su utilización para actividades domésticas, industriales, agrícolas, etc., como asimismo los cambios de temperatura provocados por emisiones de agua caliente (polución térmica).

Hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de muy diferentes maneras. Una posibilidad bastante usada es agruparlos en los siguientes ocho grupos:

### ➤ **Microorganismos patógenos**

Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños.

Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que en el agua para beber no haya colonias de coliformes en el agua.

### ➤ **Desechos orgánicos**

Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir, en procesos con consumo de oxígeno.

Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto, OD, en agua, o la DBO (Demanda Biológica de oxígeno).

### ➤ **Eutrofización**

Nitratos y fosfatos son nutrientes vegetales inorgánicos solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Al aumentar la cantidad de materia orgánica que cubre el agua se impide que la luz alcance el fondo del curso de agua, impidiendo así que se lleve a cabo la fotosíntesis necesaria para las

algas y plantas acuáticas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.

➤ **Sustancias químicas inorgánicas**

En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.

➤ **Compuestos orgánicos**

Muchas moléculas orgánicas derivadas del petróleo, como gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc., acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.

➤ **Sedimentos y materiales suspendidos**

Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos y pantanos y obstruyen canales, rías y puertos.

➤ **Sustancias radiactivas**

Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

## ➤ Contaminación térmica

El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

### 1.3.1 – Contaminación asociada a la alcalinidad y acidez del agua

El pH es una medida de la acidez o basicidad de una solución. El pH del agua puede variar entre 0 y 14. Cuando el pH de una sustancia es mayor de 7, se trata de una sustancia básica, mientras que cuando el pH de una sustancia está por debajo de 7, se trata de una sustancia ácida. Cuanto más se aleje el pH por encima o por debajo de 7, más básica o ácida será la solución.

El pH de la solución nutriente en contacto con las raíces puede afectar el crecimiento vegetal de dos formas principalmente:

- El pH puede afectar la disponibilidad de nutrientes: el aparato radical absorbe únicamente los distintos nutrientes que se encuentran disueltos.

Valores extremos de pH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes con lo que permanecen en forma no disponible para las plantas.

- El pH puede afectar al proceso fisiológico de absorción de los nutrientes por parte de las raíces: todas las especies vegetales presentan unos intervalos característicos de pH en los que su absorción es idónea. Fuera de este intervalo la absorción radicular se ve dificultada y si la desviación en los valores de pH es extrema, el sistema radical puede verse deteriorado o aparecer toxicidad debida a la excesiva absorción de elementos fitotóxicos (aluminio).

El pH en las disoluciones de fertirrigación, tanto en cultivo en suelo como en hidroponía, debe ser tal que permita estar disueltos a la totalidad de los nutrientes sin dañar las raíces, evitando de este modo la formación de

precipitados. Es especialmente importante el control del pH en las soluciones de fertirrigación, ya que un pH apropiado en el flujo de riego ayuda a prevenir reacciones químicas de los fertilizantes en las líneas de riego. Un valor de pH elevado puede causar obstrucciones en los diferentes componentes de un sistema de fertirrigación, debidas a la formación de precipitados.

Así pues, el hierro, que es el elemento esencial cuya solubilidad resulta más afectada por el pH, a menos que se adicione diariamente o en forma de quelato, se encuentra en forma iónica disponible para la planta en menos del 50% por encima de pH 7, mientras que a pH 8 no queda nada disponible debido a su precipitación en forma de hidróxido férrico  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (óxido, robín o herrumbre).

Por el contrario, por debajo de pH 6.5, más del 90% del hierro permanece disuelto y disponible para las plantas.

El pH es muy importante no sólo para el proceso exclusivo de fertirrigación, sino que también juega un importante papel en el uso de plaguicidas a través del riego (quimirrigación). Las aguas de naturaleza alcalina pueden degradar las moléculas de ciertos plaguicidas reduciendo su actividad química, mediante un proceso denominado hidrólisis alcalina, sobre todo si los productos permanecen en tanques de mezcla durante un tiempo prolongado o si la temperatura ambiental es elevada.

Para agua de riego, un adecuado pH asegura una mejor asimilabilidad de los diferentes nutrientes, especialmente fósforo y micronutrientes, así como también el mantenimiento de las líneas de riego, por evitar la formación de precipitados, y un aprovechamiento más eficiente de los plaguicidas.

### 1.3.2 – Contaminación asociada a la presencia de compuestos nitrogenados en el agua

Los nitratos actualmente constituyen la principal “fuente de contaminación difusa” de las aguas (superficiales y subterráneas).

La contaminación difusa tiende a adquirir cada vez mayor protagonismo en la degradación de los recursos hídricos, ya que cuanto mayor es el grado de depuración y limitación de los vertidos puntuales, mayor es el peso relativo de este tipo de contaminación difusa.

Para hacer frente a la problemática que supone la contaminación por nitratos muchos países se han visto obligados a iniciar cambios en su ordenamiento legislativo, configurando normativas que regulen las explotaciones agrícolas y ganaderas, así como la eliminación de los residuos ganaderos.

La máxima preocupación en torno a la contaminación del agua por nitratos estriba en el efecto que puede tener sobre la salud humana la ingesta de nitratos, bien disueltos en el agua o bien en los alimentos. Además la contaminación de las aguas aparece asociada a actividades antrópicas, ya sea de forma directa (vertidos) o a causa de accidentes.

La contaminación reduce la cantidad de agua utilizable para ciertos fines, y se contribuye a conformar una situación de escasez y de degradación del medio ambiente. La tendencia actual es la de obligar a los causantes de la contaminación a pagar por este uso del agua y a asumir los costes de la depuración.

En el caso de las aguas superficiales, la fuente de contaminación se puede identificar fácilmente siendo fácilmente controlable y la solución del problema relativamente sencilla. En cambio, en el caso de las aguas subterráneas aunque se encuentran más protegidas frente a la contaminación que las aguas superficiales, debido fundamentalmente a la capacidad purificadora de los suelos, sin embargo, cuando se produce su contaminación ésta es mucho más compleja de detectar, volviéndose con frecuencia en un proceso irreversible debido a que la degradación de la calidad del agua se advierte después de un cierto tiempo y cuando la contaminación ha afectado a amplias zonas del acuífero. Con demasiada frecuencia, la adopción de medidas correctoras frente a la contaminación son costosas, entrañan gran

dificultad de recuperación y su eficiencia no siempre satisfactoria, estando condicionada, además, por una compleja evolución del contaminante en el terreno y la consiguiente dificultad de establecer un diagnóstico de las relaciones causa-efecto del proceso contaminante.

### **Fuentes de contaminación de nitratos y otros compuestos nitrogenados**

Con frecuencia la contaminación por nitratos procede principalmente de fuentes no puntuales o difusas que se caracterizan por una gran cantidad de puntos de entrada de la contaminación en el terreno y por la dificultad que supone hacer una localización precisa de las zonas donde se produce la entrada de los contaminantes.

Las fuentes de contaminación por nitratos en suelos y aguas (superficiales y subterráneas), aunque pueden ser muy diversas, se asocian mayoritariamente a actividades agrícolas (uso abusivo de purines y fertilizantes) y ganaderas (almacenamiento de estiércoles), aunque en determinadas áreas, también pueden aparecer asociadas a ciertas actividades industriales, especialmente las relacionadas con el sector agrícola (aguas residuales).

### **Situación en España**

En España, país de gran tradición agrícola y ganadera, las aguas contienen cada vez mayores niveles de nitratos debidos, esencialmente, al abuso de fertilizantes y a una mala gestión de los residuos ganaderos, provocados mayoritariamente por la ganadería intensiva, donde gran número de cabezas de ganado permanecen estabuladas concentrando en ese punto gran cantidad de desechos orgánicos, que acaban uniéndose al ciclo del agua, bien por filtración hasta el acuífero o por escorrentía hasta una corriente de agua.

Existen amplias zonas España donde la contaminación por nitratos está generando situaciones de especial gravedad como es el caso de varias comarcas de la Comunidad de Cataluña (Maresme, Alt y Baix Empurdà, Osona, Segarra y Noguera). En estas comarcas catalanas la contaminación por nitratos aparece asociada al notable incremento que ha tenido lugar en los últimos años en la producción de residuos ganaderos procedentes de granjas porcinas.

En la Comunidad Valenciana la contaminación por nitratos también constituye un importante problema. En los acuíferos de las dos cuencas principales que riegan esta comunidad (Júcar y Segura) la concentración por nitratos procedentes de fertilizantes agrícolas se ha incrementado notablemente, especialmente en las zonas de mayor actividad agrícola y donde se realizan determinadas prácticas de abonado. No obstante, según el Ministerio de Medio Ambiente en el año 2001, la situación en la cuenca del Segura es mejor que en la cuenca del Júcar, a pesar de que este río ha sido sancionado por la Comisión Europea debido a la gran contaminación que tiene asociada a vertidos agrícolas, industriales y urbanos, sobre la que destaca la contaminación por nitratos. En ese año, según el Ministerio de Medio Ambiente, en la cuenca del Segura solamente 3 acuíferos superaban los 50 mg/l mientras que en el Júcar eran 6 los que sobrepasaban los valores límites. No obstante, existen extensas áreas en la desembocadura del Júcar donde se superaron los 100 mg·l<sup>-1</sup>, llegándose a crear en algunos momentos situaciones alarmantes como fue el caso del río Vinalopo (Alicante) en el año 1994. También en algunos municipios de la comarca de la Plana Baixa (Castellón) (Onda, Alcora, Ribesalbes, Vila-real y Nules) en el año 2000 se detectaron niveles de nitratos superiores a los 50 mg/l recomendados. En este caso se atribuían estos altos valores al uso de abonos nitrogenados, pero también a la industria dedicada a la fabricación de azulejos presente en la zona y en cuya elaboración se utilizan importantes cantidades de nitratos muy concentrados.

### 1.3.3 – Contaminación asociada a la presencia de metales pesados

Se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a  $5 \text{ gr/cm}^3$  cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01%.

Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

- Oligoelementos o micronutrientes, que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn.
- Metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva aparejadas disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son, principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb, Bi.

El contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogénicos que dan lugar al suelo. Pero la actividad humana incrementa el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables, siendo esta, sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas.

Aproximadamente el 10% de la basura está compuesta de metales. Uno de los problemas más serios de las sociedades modernas es como deshacerse de este volumen de basuras. Las dos alternativas son enterrar o incinerar. El enterramiento puede contaminar las aguas subterráneas, mientras que la incineración puede contaminar la atmósfera al liberar algunos de los metales volátiles. [Martinez y colab.2001.]

De hecho esto sucede debido a los vertidos de origen antropogénico, procedentes de vertidos industriales, de actividades mineras, de la aplicación de plaguicidas o también del tráfico rodado. Como resultado, se emiten grandes cantidades de partículas que, después de un cierto tiempo de permanencia en la atmósfera, precipitan en los suelos lejos del lugar donde han sido vertidas.

Los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

- pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación
- pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas
- pueden pasar a la atmósfera por volatilización
- pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas

La toxicidad de un agente contaminante no sólo va a depender de sí mismo sino que las características del suelo donde se encuentre van a ser decisivas. La sensibilidad de los suelos a la agresión de los agentes contaminantes va a ser muy distinto dependiendo de una serie de características edáficas.

➤ pH

Es un factor esencial. La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino.

➤ Textura

La arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio. Por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos.

### ➤ Estructura

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados.

El grado de estructura es la intensidad de agregación y expresa la diferencia entre la cohesión dentro de los agregados y la adhesividad entre ellos; dependiendo del tamaño de los agregados podremos incluir el suelo en una estructura u otra.

Una estructura fuerte, con agregados bien formados y de gran tamaño favorece la entrada e infiltración del agua, y por lo tanto la contaminación de metales pesados en el suelo, mientras que un suelo con estructura fina, con abundantes limos y arcillas, y agregados de pequeño tamaño dificulta la entrada de agua.

### ➤ Mineralogía de las arcillas

Cada especie mineral tiene unos determinados valores de superficie específica y descompensación eléctrica. Ambas características son las responsables del poder de adsorción de estos minerales. La capacidad de cambio de cationes es mínima para los minerales del grupo de la caolinita, baja para las micas, alta para las esmectitas y máxima para las vermiculitas.

### ➤ Materia Orgánica

Reacciona con los metales formando complejos de cambio. Los metales una vez que forman estos complejos pueden migrar con mayor facilidad a lo largo del perfil del suelo. El perfil del suelo es la sucesión de diferentes horizontes o capas de suelo formados como consecuencia de la formación y desgaste de los suelos.

La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como es el Cu, que pueden quedar en posición no disponible por las plantas.

Por eso algunas plantas, de suelos orgánicos, carecen de ciertos elementos como el Cu. El Pb y el Zn forman quelatos solubles muy estables.

La complejación por la materia orgánica del suelo es una de los procesos que gobiernan la solubilidad y la bioasimilación de metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia en gran medida por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión.

➤ Capacidad de cambio

Es función del contenido de arcilla y materia orgánica, fundamentalmente. En general cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos.

➤ Condiciones redox

El potencial de oxidación-reducción es responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido. Atendiendo a las condiciones redox se puede mostrar la estabilidad de compuestos de metales pesados y proporciona un método fácil para predecir el comportamiento de los metales pesados frente a un de cambio en las condiciones ambientales.

➤ Óxidos e hidróxidos de Fe y Mn

Juegan un importante papel en la retención de los metales pesados. Tienen una alta capacidad para fijar a los metales pesados e inmovilizarlos. Además, estos compuestos se presentan finamente diseminados en la masa del suelo por lo que son muy activos. Los suelos con altos contenidos de Fe y Mn tienen una gran capacidad de adsorber metales divalentes, especialmente Cu, Pb y en menor extensión Zn, Co, Cr, Mo y Ni.

### ➤ Carbonatos

La presencia de carbonatos garantiza el mantenimiento de altos valores de pH, en los que como ya hemos visto tienden a precipitar los metales pesados. El Cd, y otros metales, presentan una marcada tendencia a quedar adsorbidos por los carbonatos.

### ➤ Salinidad

El aumento en salinidad puede incrementar la movilización de metales pesados por dos mecanismos. Primeramente los cationes asociados con las sales (Na, K) pueden reemplazar a metales pesados en lugares de adsorción. En segundo lugar los aniones cloruro pueden formar complejos solubles estables con metales pesados tales como Cd, Zn y Hg. Favorecen los suelos de pH básicos.

## **Daños para la salud de los metales pesados**

Estudios muy recientes se han ocupado de la repercusión negativa de los metales pesados en la situación del ecosistema y la salud del ser humano. Hoy día se conoce mucho más sobre los efectos de estos elementos, cuya exposición está relacionada con problemas de salud como retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en el riñón, e, incluso, con casos de muerte. La relación con niveles elevados de mercurio, oro y plomo ha estado asociada al desarrollo de la autoinmunidad (el sistema inmunológico ataca a sus propias células tomándolas por invasoras). La autoinmunidad puede derivar en el desarrollo de dolencias en las articulaciones y el riñón, tales como la artritis reumática, y en enfermedades de los sistemas circulatorio o nervioso central.

En este estudio vamos a centrarnos en el zinc, es uno de los elementos menos comunes; se estima que forma parte de la corteza terrestre en un 0.0005-0.02%. Ocupa el lugar 25 en orden de abundancia. El zinc puro y recientemente pulido es de color blanco azulado, lustroso y moderadamente duro (2.5 en la escala de Mohs). El aire húmedo provoca su empañamiento superficial, haciendo que tenga color gris. El zinc puro es dúctil y maleable

pudiéndose enrollar y tensar, pero cantidades pequeñas de otros metales como contaminantes pueden volverlo quebradizo.

El zinc es un metal buen conductor del calor y la electricidad.

Es un elemento traza esencial para el desarrollo de muchas clases de organismos vegetales y animales. El zinc está presente en la mayor parte de los alimentos, especialmente en los que son ricos en proteínas.

En el ser humano, la deficiencia de zinc puede producir pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor, pequeñas llagas y erupciones cutáneas. Mientras que la acumulación del zinc puede incluso producir defectos de nacimiento, problemas de salud eminentes, como úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia. Niveles altos de zinc pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, así como causar arterioesclerosis.

El zinc puede dañar a los niños que no han nacido y a los recién nacidos. Cuando sus madres han absorbido grandes concentraciones de zinc los niños pueden ser expuestos a éste a través de la sangre o la leche de sus madres.

Exposiciones al clorato de zinc intensivas pueden causar desordenes respiratorios. Y el contacto con zinc en el ambiente de trabajo puede causar la gripe conocida como la fiebre del metal.

En cuanto a los problemas ambientales, el zinc ocurre de forma natural en el aire, agua y suelo, pero las concentraciones están aumentando por causas no naturales, debido a la adición de zinc a través de las actividades humanas. La mayoría del zinc es adicionado durante actividades industriales, como es la minería, la combustión de carbón y residuos y el procesado del acero. La producción mundial de zinc está todavía creciendo, lo cual implica que cada vez hay una mayor cantidad de zinc en el ambiente.

Si las aguas residuales de la industria relacionada con el zinc no son depuradas correctamente, este aumenta la acidez de las aguas y hace que se depositen fangos contaminados con zinc en las orillas de los ríos. Algunos peces pueden acumular zinc en sus cuerpos, cuando viven en estos cursos de

agua, cuando el zinc entra en los cuerpos de estos peces este es capaz de biomagnificarse en la cadena alimentaria.

Grandes cantidades de zinc pueden ser encontradas en los suelos. Éste es soluble en agua y puede contaminar el agua subterránea.

Al igual que con los humanos, el zinc puede acumularse en el ganado y otros animales, perjudicando su salud, pero además también es una amenaza para las plantas. Las plantas a menudo tienen una toma de zinc que sus sistemas no puede manejar, debido a la acumulación de zinc en el suelo. En suelos ricos en zinc sólo un número limitado de plantas tiene la capacidad de sobrevivir.

Finalmente, el zinc puede interrumpir la actividad en los suelos, con influencias negativas en la actividad de microorganismos y lombrices, ralentizando así la descomposición de la materia orgánica.

#### 1.3.4 – Contaminación asociada a la salinidad del agua

La sal común o cloruro sódico es un compuesto tremendamente perjudicial para las plantas que causa los siguientes problemas:

- Perjudica las relaciones hídricas entre suelo y planta: La concentración de las sales solubles eleva la presión osmótica de la solución del suelo. Hay que tener en cuenta que el agua tiende a pasar de las soluciones menos concentradas a las más concentradas, con el fin de tener las mismas presiones osmóticas. Cuando la concentración salina de la solución salina del suelo es superior a la del jugo celular de las plantas, el agua de las planta tenderá a salir hacia la solución del suelo. En los medios salinos, aunque la humedad sea elevada, las plantas sufren estrés hídrico, se secan y acaban muriendo
- Trastoca el balance energético: Al aumentar la presión osmótica de la solución las plantas sufren una adaptación de sus células para poder

absorber agua, llevando a cabo un mayor consumo de energía produciendo un menor crecimiento en su altura. Se produce un engrosamiento prematuro de las paredes celulares limitando el crecimiento de forma irreversible.

- Puede producir toxicidad: Debido al aumento en la concentración de algunos elementos como los cloruros, nitratos y fosfatos, el calcio y el sodio y el potasio y sodio, se pueden producir fallos en las rutas metabólicas y acumulación de ciertos iones en semillas, tallos y hojas.
- Modifica la estructura del suelo: El exceso de sales favorece la aparición de costras que ocasionan la asfixia radicular. La existencia de ion sodio ocasiona la dispersión de la materia orgánica y de las arcillas, consiguiendo así la pérdida de estructura. Esta modificación de la estructura del suelo provoca una aireación e infiltración deficientes.
- Facilita la aparición de plagas: en terrenos muy salados donde el viento mantiene el cloruro sódico en suspensión, éste puede penetrar directamente en la planta a través de las hojas. Esta sal debilita a las plantas que terminan siendo atacadas por plagas.

Los efectos de la sal en las plantas son muy similares a los efectos de la sequía, hojas con poco vigor, coloración amarilla antes de la llegada del otoño, márgenes de las hojas marrones y brotes jóvenes con tono marrón.

Conviene analizar el contenido de sal del agua para saber si es adecuada para regar las plantas. De acuerdo a la sal que contienen se establecen los siguientes criterios:

- Agua sin riesgos para el riego: aquella que puede utilizarse sin restricciones ya que su uso no puede conllevar a la salinización del terreno. El agua presenta menos de 0,5g/l
- Agua que presenta ligeros riesgos para el riego: Un uso no adecuado de la misma puede producir la salinización del terreno. Presenta riesgos aquella agua que posee entre 0,5 y 2 g de sal/l
- Agua desaconsejada para el riego: es aquella que no debería utilizarse, excepto bajo supervisión de un profesional porque supera los 2g/l, que supone un riesgo demasiado elevado para el terreno

Al igual que el grado de salinización del terreno:

- No salino: contienen entre 0 y 3 g/l
- Ligeramente salino: entre 3 y 6 g/l
- Medianamente salino: entre 6 y 102 g/l
- Con alta salinidad: mas de 12 g/l

Para eliminar el exceso de sal del suelo se necesita mejorar las condiciones de drenaje, en caso de que estas sean deficientes y limpiar el terreno (lixiviación) realizando regados abundantes con agua adecuada.

## 2 – OBJETIVOS

El objetivo principal es estudiar el acondicionamiento y la posible reutilización de los filtros de acetato de celulosa de los cigarrillos aplicado al ámbito de la limpieza de aguas. Para poder lograr el objetivo macado hubo que plantear diferentes objetivos secundarios:

- Estudiar el acondicionamiento de los filtros de acetato de celulosa para eliminar sustancias retenidas durante la inhalación de humo.
- Estudiar los filtros de acetato de celulosa como filtros para la limpieza de aguas contaminadas.
- Estudiar la respuesta de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de nitratos.
- Estudiar la respuesta de los filtros de acetato de celulosa, en discontinuo y continuo, como adsorbentes de zinc.
- Estudiar la respuesta de los filtros de acetato de celulosa, en discontinuo y continuo, como reguladores de la acidez del agua.
- Estudiar la respuesta de los filtros de acetato de celulosa como reguladores de la conductividad.

## **3 – MATERIAL Y METODOS**

### **3.1 – Clasificación de los equipos, materiales y reactivos utilizados**

A continuación se muestra una relación de los principales equipos, materiales y reactivos utilizados durante la realización del estudio.

#### **EQUIPOS**

- Agitador magnético
- Digestor DQO Selecta
- Oscilador magnético Heidolph unimax 2010
- Kits Spectroquant para medida de nitratos marca Merck
- Spectroquant nova 60 marca Merck
- pH-metro WTW 340i
- Batería filtrado múltiple Millipore 12 unidades
- Bomba rotativa de filtrado
- Espectrofotómetro absorción atómica Varian SpectrAA 220
- Balanza analítica KERN EG-220
- Bomba peristáltica Seko
- Conductímetro WTW multiline P4

#### **MATERIALES**

- Vasos de precipitado de 50 ml, 250 ml, 800 ml y 2000 ml
- Pipetas de 1ml, 2ml, 5ml, 10 ml
- Probetas de 50 ml y 250 ml
- Matraz aforado de 50 ml, 100 ml y 2000 ml
- Termómetro
- Tubos de digestión
- Tubos condensadores con boca esmerilada

- Erlenmeyers con rosca de 100 ml
- Cronometro
- Filtros Millipore
- Depósitos 30 l
- Columna de lecho fijo

## REACTIVOS

- 1-10 ortofenantrolina monohidratada Scharlau
- Dicromato potásico Panreac
- Acido sulfúrico 95-97%. Scharlau. AC2065
- Sulfato de plata Scharlau
- Sulfato ferroso amonico Panreac
- Sulfato de mercurio Panreac
- Lentejas de Sosa cáustica Panreac
- Nitrato de Aluminio
- Agua milli-Q
- Acido nítrico 60%. Scharlau. AC1602
- Cloruro sódico Scharlau. So 227
- Solución estándar de Zn de 1000 mg/l. Scharlau. CI 0125

## **3.2 – Métodos de análisis**

A continuación se definirán los fundamentos teóricos de los métodos de análisis utilizados y la metodología para llevarlos a cabo.

### 3.2.1 – Fundamentos de los métodos de análisis utilizados

En los siguientes apartados se describirán los fundamentos teóricos en los que se basan los ensayos planteados durante el estudio.

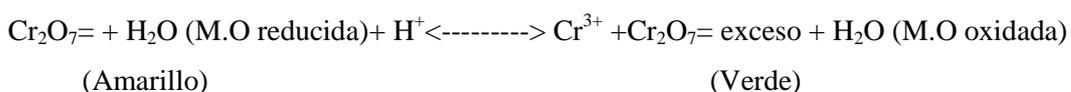
### 3.2.1.1 – Demanda química de oxígeno

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg O<sub>2</sub>/litro.

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. Este método no es aplicable en muestras de agua potable ya que no tiene la suficiente precisión.

La D.Q.O., mide, expresada en oxígeno, la porción de Materia orgánica, biodegradable o no, de una muestra que es susceptible de oxidación por un fuerte oxidante químico (dicromato potásico - Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>K<sub>2</sub> - en nuestro caso).

La mayor parte de la materia orgánica resulta oxidada por una mezcla a ebullición de los ácidos crómico y sulfúrico. Se somete a reflujo una muestra en una solución ácida fuerte con un exceso de dicromato potásico. Después de la digestión, el dicromato no reducido que quede, se determina con sulfato ferroso amónico, sal de Mohr: (SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, para determinar la cantidad de dicromato consumido y calcular la M.O. oxidable en términos de equivalente de oxígeno.



Para la valoración utilizamos un indicador, 1-10 fenantrolina o ferroína, que a su vez reacciona con el exceso de Fe<sup>2+</sup> que a su vez no ha reaccionado con el dicromato, dando lugar a un complejo de color marrón/rojizo que nos indica el punto final de la valoración.

### **3.2.1.2 – Medición de nitratos**

Los test de medición de nitratos realizan una fotometría de absorción molecular, en un equipo compacto y de fácil utilización.

En ácido sulfúrico concentrado los iones nitrato forman con un derivado del ácido benzoico un nitrocompuesto rojo, cuya concentración se determina fotométricamente a una longitud de onda de 517 nm.

### **3.2.1.3 – Espectroscopia de absorción atómica**

La espectroscopía de absorción atómica (A.A) es una técnica de análisis instrumental, capaz de detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos comprendidos en el sistema periódico. Este método consiste en la medición de las especies atómicas por su absorción a una longitud de onda particular. La especie atómica se logra por atomización de la muestra, siendo los distintos procedimientos utilizados para llegar al estado fundamental del átomo lo que diferencia las técnicas y accesorios utilizados.

La técnica de atomización más usada es la de absorción atómica con llama, que nebuliza la muestra y luego la disemina en forma de aerosol dentro de una llama de aire acetileno u óxido nitroso-acetileno.

Los componentes básicos de un espectrómetro de absorción atómica son:

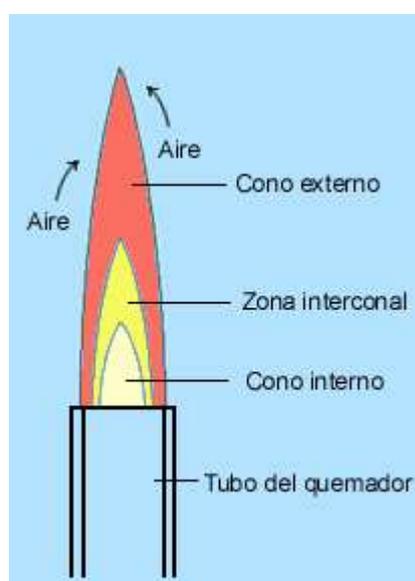
- Sistema de atomización, encargado de suministrar la energía suficiente para la disociación del analito y la formación de átomos libres.
  - Fuente de radiación encargada de emitir la línea espectral del elemento de interés, variando la longitud de onda.
  - Monocromador se utiliza para aislar la línea espectral medida.
  - Detector encargado de captar la señal, va acoplado con un sistema lector o de registro.
- 
- Sistema de atomización (llama)

La llama tiene tres funciones básicas: permite pasar la muestra a analizar del estado líquido a estado gaseoso; descompone los compuestos

moleculares del elemento de interés en átomos individuales o en moléculas sencillas y excita estos átomos o moléculas.

Las condiciones que debe cumplir una llama para considerarla satisfactoria es que tenga la temperatura adecuada y que en ella se forme un ambiente gaseoso que permita las funciones mencionadas. Además, el ruido de fondo de la llama no debe interferir en las observaciones a efectuar.

Una llama típica consta de: cono interno, cono externo y zona entre conos como podemos observar en la siguiente figura.



*Ilustración 2: esquema de la llama del sistema de atomización*

El cono interno es la zona en que tiene lugar, generalmente, una combustión parcial, es decir sin equilibrio térmico. Esta zona se calienta por conducción y radiación a partir de la región más caliente que se encuentra sobre ella. En ella se forman los productos de oxidación intermedios, se produce una gran emisión de luz (a partir del combustible y no de la muestra), una elevada ionización y una gran concentración de radicales libres. Es muy poco utilizada para trabajo analítico.

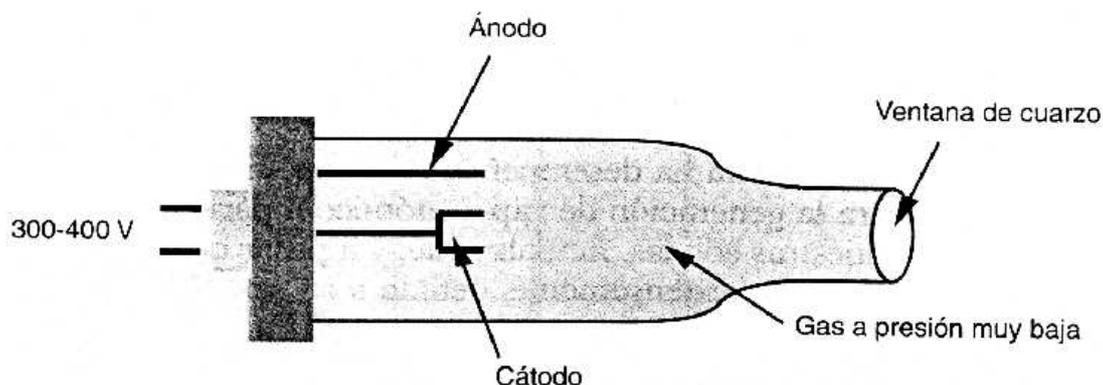
Inmediatamente encima de la región del cono interno se encuentra la zona interconal. Es la llamada parte caliente de la llama y en ella tiene lugar una combustión completa y se alcanza casi un equilibrio termodinámico. Esta llama es la que se utiliza prácticamente en análisis por fotometría de llama y

espectroscopía de absorción atómica. La altura de esta zona sobre el quemador varía considerablemente con el tipo de quemador, la naturaleza de los gases utilizados y su velocidad de flujo.

La región del cono externo es una zona de combustión secundaria en la que los productos parcialmente oxidados como el monóxido de carbono pueden completar su combustión.

- Fuentes de radiación

Lámparas de cátodo hueco; este tipo de lámparas consiste en un ánodo de wolframio y un cátodo cilíndrico cerradas herméticamente en un tubo de vidrio lleno con neón / argón a una presión de 1 a 5 torr. El cátodo esta constituido con el metal cuyo espectro se desea obtener, o bien, sirve de soporte para una capa de dicho metal. Una parte de estos átomos se excitan con la luz que pasa a través de ellos y, de este modo, al volver al estado fundamental emiten su radiación característica, los átomos metálicos se vuelven a depositar difundiéndose de nuevo hacia la superficie del cátodo o hacia las paredes del vidrio. La configuración cilíndrica del cátodo tiende a concentrar la radiación en una región limitada del tubo metálico, este diseño aumenta la probabilidad de que la redepósito sea en el cátodo y no sobre la pared del vidrio.



*Ilustración 3: esquema de una lámpara de cátodo hueco*

En nuestro caso se ha utilizado una lámpara de cátodo hueco para la longitud de onda del Zn (213.9 nm)

- Monocromador

La única finalidad del monocromador es aislar la línea de medida del elemento de interés para optimizar la calidad del espectro generado. No son necesarios monocromadores de muy altas resoluciones.

La rendija deberá ser lo más estrecha posible, con objeto de reducir la cantidad de radiación emitida por la llama que llega al detector.

- Detector

El detector es el dispositivo encargado de captar la señal óptica proveniente del monocromador y transformarlo en una señal electrónica capaz de ser convertida en un valor legible. El más común es el fotomultiplicador, tubo de vacío provisto de placas fotosensibles que recibe los fotones, los convierte en impulsos electrónicos y multiplica hasta obtener la suficiente intensidad eléctrica.

#### **3.2.1.4 – Conductividad**

La conductividad de una sustancia se define como "la capacidad o poder de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido". Las unidades son Siemens por metro [S/m] en sistema de medición internacional.

La corriente eléctrica resulta del movimiento de partículas cargadas eléctricamente y como respuesta a las fuerzas que actúan en estas partículas debido a un campo eléctrico aplicado. Dentro de la mayoría de los sólidos existe un flujo de electrones que provoca una corriente, y a este flujo de electrones se le denomina conducción electrónica. En todos los conductores, semiconductores y en la mayoría de los materiales aislados se genera conducción electrónica; la conductividad eléctrica depende en gran medida del número de electrones disponibles para participar en el proceso de conducción.

La mayoría de los metales son buenos conductores de electricidad, debido al gran número de electrones libres que pueden ser excitados en un estado de energía vacío y disponible.

En el agua y materiales iónicos o fluidos puede generarse el movimiento de una red de iones cargados. Este proceso produce corriente eléctrica y se denomina conducción iónica.

### 3.2.1.5 – Acidez

El pH es una medida de la acidez o basicidad de una solución. El pH es la concentración de iones o cationes hidrógeno  $[H^+]$  presentes en determinada sustancia.

El término significa potencial de hidrógeno y fue acuñado por el químico danés Sørensen, quien lo definió como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno

$$pH = -\log_{10} [a_{H^+}]$$

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno ( $H^+$ ) en una sustancia.

Un electrodo de pH es un tubo lo suficientemente pequeño como para poder ser introducido en un tarro normal. Está unido a un pH-metro por medio de un cable. Un tipo especial de fluido se coloca dentro del electrodo; este es normalmente “cloruro de potasio  $3\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ”. En el fluido hay cables de plata y platino.

El sistema es bastante frágil, porque contiene una pequeña membrana. Los iones  $H^+$  y  $OH^-$  entrarán al electrodo a través de esta membrana. Los iones crearán una carga ligeramente positiva y ligeramente negativa en cada extremo del electrodo. El potencial de las cargas determina el número de iones  $H^+$  y  $OH^-$  y cuando esto haya sido determinado el pH aparecerá digitalmente en el pH-metro. El potencial depende de la temperatura de la solución. Es por eso que el pH-metro también muestra la temperatura.

Cuando los ácidos entran en contacto con el agua, los iones se separan. Por ejemplo, el cloruro de hidrógeno se disociará en iones hidrógeno y cloro ( $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ ). Las bases también se disocian en sus iones cuando entran en contacto con el agua. Cuando el hidróxido de sodio entra en el agua se separará en iones de sodio e hidroxilo ( $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ ).

Cuando una sustancia ácida acaba en el agua, le cederá a ésta un protón. El agua se volverá entonces ácida. El número de protones que el agua recibirá determina el pH. Cuando una sustancia básica entra en contacto con el agua captará protones. Esto bajará el pH del agua.

Cuando una sustancia es fuertemente ácida cederá más protones al agua. Las bases fuertes cederán más iones hidroxilo.

### 3.2.2 – Metodología experimental

A continuación se detalla el procedimiento a realizar en los ensayos de laboratorio

#### 3.2.2.1 – Demanda química de oxígeno

Para llevar cabo los análisis de D.Q.O. necesarios se tomaron 20 ml de la muestra con una pipeta, y se vertieron en un tubo condensador de boca esmerilada. Tras esto se añadió 0.4 g de  $\text{HgSO}_4$  y 2 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , agitando hasta que quedara totalmente disuelto. Una vez disuelto el  $\text{HgSO}_4$  se añadió muy lentamente, y enfriando el tubo, 28 ml de una disolución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  y se colocó el condensador. El tubo fue colocado en el digestor Selecta, dentro de la campana extractora, donde permaneció 2 horas a  $140^\circ\text{C}$ .

Una vez pasado el tiempo se extrajeron los tubos del digestor y se vertió el contenido en un erlenmeyer y se completó al doble de su volumen con agua destilada. Se añadieron 8 gotas de indicador de ferroina y se procedió a valorar el exceso de dicromato con una solución de sal de Mohr.

La D.Q.O. se calculó a partir de la diferencia entre el dicromato añadido inicialmente y el dicromato encontrado tras la oxidación.

$$DQO(mg/l) = \frac{8000(V' - mlsaldeMOHRmuestra)N'}{Volumenmuestra(ml)}$$

Donde 8000 es el peso equivalente del oxígeno en mg,  $V'$  es el volumen en ml de sal de MOHR utilizada para valorar el ensayo en blanco.

### 3.2.2.2 – Medición de nitratos

Para la medición de la cantidad de nitratos de la muestra, se utilizaron los kits de medida de nitratos de la marca Merck. Estos test miden fotométricamente la reacción que se produce al entrar en contacto los iones de nitrato con el ácido sulfúrico, a una longitud de onda de 517 nm.

Para ello se toma un tubo de ensayo con tapa roscada y se añade una microcuchara de reactivo  $NO_3-1A$ , después se vierten 5 ml del segundo reactivo ( $NO_3-2A$ ) y se agita vigorosamente hasta que el primer reactivo se haya disuelto completamente. Una vez disuelto el reactivo se añaden 1,5 ml de la muestra a analizar, se cierra de nuevo el tubo y se agita sujetando solo por la parte superior (ya que la mezcla se calienta mucho), para dejarlo reposar durante 10 minutos antes de introducir la muestra de medición en la cubeta y medirlo en el fotómetro Spectroquant nova 60 marca Merck.

El test de medidas posee un autoselector de la longitud de onda para facilitar la medida del fotómetro y una pantalla donde nos indica la concentración de la muestra en  $mg \cdot l^{-1}$  de  $NO_3^{-2}$ .

### 3.2.2.3 – Espectroscopia de absorción atómica

Antes de pasar las muestras por el espectrofotómetro de absorción atómica Varian SpectrAA 220, es necesario ajustarlo para las muestras que se van a medir en él, como puede observarse en la tabla 3:

|                                |                |
|--------------------------------|----------------|
| Método empleado                | Llama          |
| Tipo de llama                  | Aire/acetileno |
| Flujo de aire                  | 11L/min        |
| Flujo de acetileno             | 1,50 L/min     |
| Precisión                      | 10%            |
| Tipo de calibrado              | Lineal         |
| Corriente de la lámpara        | 5mA            |
| Anchura de la rendija          | 1 nm           |
| Longitud de onda de la lámpara | 213,9 nm       |

**Tabla 3:** condiciones de medición en el espectrofotómetro de absorción atómica Varian SpectrAA 220

Una vez preparado el espectrofotómetro se procedió a preparar los patrones de calibrado del mismo. Fue necesario preparar un patrón para cada uno de los ensayos llevados a cabo.

Para realizar cada uno de esos patrones en primer lugar se prepararon unas muestras con una concentración de zinc conocida, correspondientes a 0,1; 0,5; 1; 1,5; y 2 mg·l<sup>-1</sup>. Esas muestras de concentración conocida fueron llevadas al espectrofotómetro para comprobar que absorbancia presentaban.

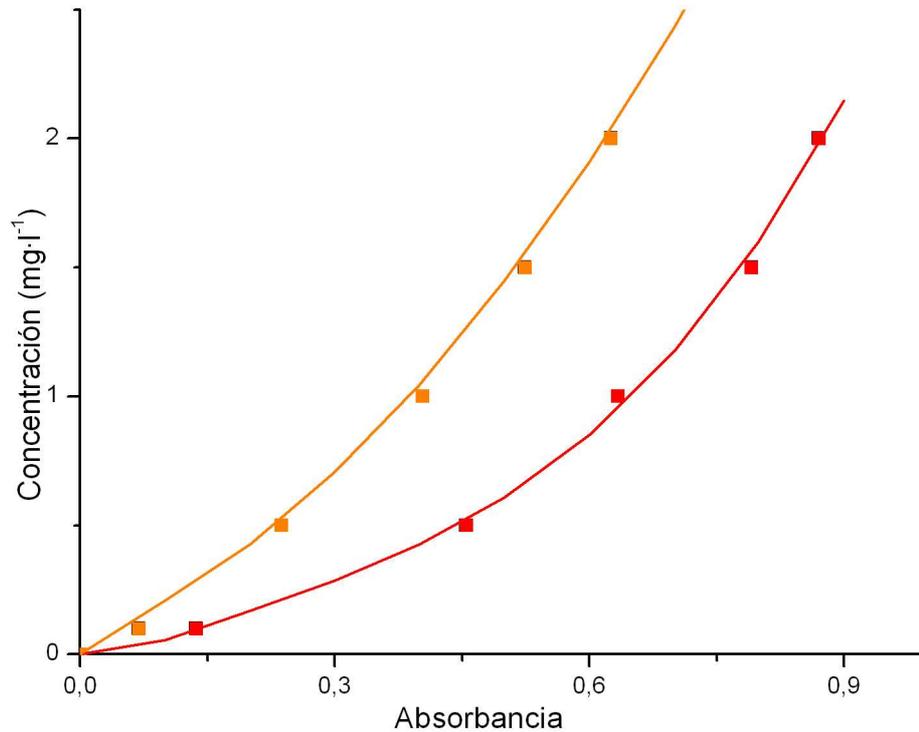
| Ensayo | Discontinuo | Continuo    |
|--------|-------------|-------------|
| Patrón | Absorbancia | Absorbancia |
| 0.0    | 0.0000      | 0.0000      |
| 0.1    | 0.0692      | 0.1366      |
| 0.5    | 0.2374      | 0.4552      |
| 1.0    | 0.4035      | 0.6340      |
| 1.5    | 0.5242      | 0.7911      |
| 2.0    | 0.6257      | 0.8706      |

**Tabla 4:** valores de las curvas de calibrado para los análisis de espectrofotometría de absorción atómica

Obteniendo así las curvas que se muestran en la tabla siguiente:

| ENSAYO      | CURVA   | COEFICIENTE CORRELACIÓN |
|-------------|---|-------------------------|
| Discontinuo | $Concentracion = 3,039Abs^2 + 1,2734Abs + 0,0052$               | $R^2 = 0,9996$          |
| Continuo    | $Concentracion = 3,2557Abs^3 - 1,805Abs^2 + 1,4558Abs - 0,0756$ | $R^2 = 0,997$           |

Cuyos valores se representan en la figura 1:



**Figura 1:** curva calibrado del espectrofotómetro de absorción atómica. Siendo ■ el patrón para el ensayo en discontinuo; - la curva obtenida con dicho patrón; ■ el patrón de la muestra en continuo y - la curva obtenida con el patrón del ensayo en continuo

Tras la obtención del patrón, se analizaron el resto de muestras obtenidas en los ensayos previos.

#### 3.2.2.4 – Conductividad

Para obtener la medida de la conductividad de los ensayos tan solo fue necesario introducir el electrodo del conductímetro WTW multiline P4 en la salida de las muestras tomadas y anotar las medidas obtenidas.

#### 3.2.2.5 – Acidez

Tal y como ocurría en los ensayos de conductividad para la obtención de los resultados sobre la alcalinidad tan solo fue necesario introducir el electrodo del pH-metro WTW 340i en el agua problema y en las muestras obtenidas tras el ensayo.

### **3.3 – Diseño y procedimiento experimental**

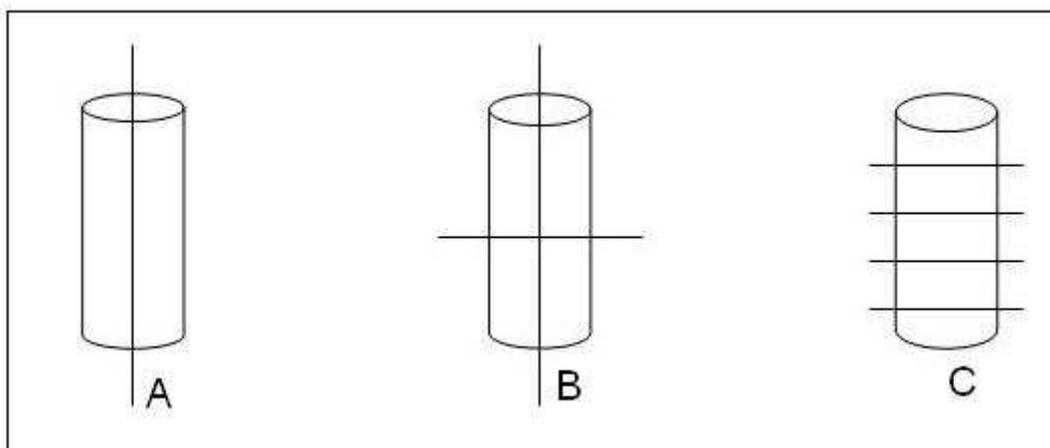
A continuación se describirá el diseño de los experimentos, así como el procedimiento experimental utilizado.

#### **3.3.1 – Diseño de ensayos experimentales**

##### **3.3.1.1 – Limpieza de colillas**

Para este ensayo se idearon diferentes experimentos para comprobar de que manera las colillas de cigarrillo eliminan mayor cantidad de materia orgánica, atendiendo a los siguientes criterios:

- Temperatura del agua: se estudió si la temperatura influía en la limpieza de las colillas de cigarrillo, para ello se hicieron ensayos a temperatura ambiente, agua a 100°C y agua a 80°C.
- Tiempo de contacto: al igual que sucedía con la temperatura, se quiso estudiar si diferentes tiempos de contacto entre los filtros de acetato de celulosa y el agua producían diferentes efectos, para ello se variaron los tiempos de contacto entre 40, 60 y 120 minutos.
- Tamaño de los filtros: para ello se trocearon las colillas de cigarrillo antes de ponerlas en contacto con el agua, bien haciéndoles un corte longitudinal, dos cortes perpendiculares ente si o varios cortes transversales formando varios discos. La forma de los cortes se puede observar en la ilustración 4.



**Ilustración 4:** tipo de cortes realizados a las colillas de cigarrillo. Siendo A, corte longitudinal; B dos cortes perpendiculares entre si y C cortes en disco.

Siguiendo los criterios nombrados se programaron los siguientes experimentos, poniendo en contacto en todos los casos 50 colillas de cigarrillo (aproximadamente 8.90 gr.) con 300 ml de agua destilada:

| EXPERIMENTO | TEMPERATURA | CORTE FILTROS           | TIEMPO  |
|-------------|-------------|-------------------------|---------|
| 1           | 100°C       | Longitudinal            | 40 min  |
| 2           | Ambiente    | Longitudinal            | 60 min  |
| 3           | 80°C        | Longitudinal            | 60 min  |
| 4           | 80°C        | 2cortes perpendiculares | 60 min  |
| 5           | 80°C        | Cortes en disco         | 60 min  |
| 6           | 80°C        | Cortes en disco         | 120 min |

**Tabla 5:** primer grupo de experimentos planteados para el ensayo de limpieza de colillas de cigarrillo

Con los mejores resultados obtenidos se llevará a cabo un segundo lavado siguiendo el método (temperatura y tiempo de contacto) más efectivo encontrado anteriormente.

Una vez encontrada el ensayo que mayor cantidad de materia orgánica libera, se llevaran a cabo sucesivos lavados para comprobar si llega a eliminar totalmente la materia orgánica retenida en el filtro o si por el contrario harían falta posteriores tratamientos.

### 3.3.1.2 – Ensayo en discontinuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbente de nitratos

Para este ensayo se plantearon 4 experimentos en los que los filtros de acetato de celulosa se pondrían en contacto con 50 ml de una solución con una concentración de nitratos conocida durante los siguientes tiempos de contacto: 1 minuto, 3 minutos, 5 minutos, 10 minutos, 30 minutos, 1 hora, 3 horas, 5 horas y 24 horas.

Tras preparar dos soluciones con diferentes concentraciones de nitratos (20 y 100 mg·l<sup>-1</sup>) se pondrán en contacto con 3 o 18 filtros de acetato tal y como se muestra en la tabla 6:

| EXPERIMENTO | CONCENTRACION NITRATOS | CONCENTRACION FILTROS (gr·l <sup>-1</sup> ) |
|-------------|------------------------|---|
| 7           | 100 mg·l <sup>-1</sup> | 10  |
| 8           | 20 mg·l <sup>-1</sup>  | 10  |
| 9           | 100 mg·l <sup>-1</sup> | 50  |
| 10          | 20 mg·l <sup>-1</sup>  | 50  |

**Tabla 6:** condiciones de los experimentos sobre la capacidad de los filtros de acetato de celulosa para actuar como adsorbentes de nitratos

Analizando tras el tiempo de contacto la concentración de nitratos en el agua y comparándola con la original para averiguar si los filtros han sido capaces de reducirla.

### 3.3.1.3 – Ensayo en discontinuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como reguladores del pH del agua

En este caso se prepararon diferentes soluciones con un pH conocido y se pusieron en contacto con diferentes cantidades de filtros de acetato de celulosa (3, 10, 10 troceados y 18 filtros), durante 7 días, para observar como influían éstos en la acidez o basicidad del agua problema.

Se prepararan 300 ml de soluciones próximas a pH 1, 3, 5, 7, 9, 11 y 13 y se pondrán en contacto con los filtros tal y como se muestra en la tabla 7.

| EXPERIMENTO | FILTROS      | CONCENTRACION<br>FILTROS (gr.l <sup>-1</sup> ) | pH  |
|-------------|--------------|--|---|
| 11          | 3            | 10   | 1.86 - 3.33 - 5.17 - 7.02 -<br>9.52 - 11.98 - 12.65 |
| 12          | 10           | 25   |   |
| 13          | 10 troceados | 25   |   |
| 14          | 18           | 50   |   |

**Tabla 7:** condiciones del ensayo sobre la capacidad de los filtros de acetato de celulosa para actuar como reguladores del pH

Tras el tiempo de contacto se mediría el pH resultante para comprobar de qué manera influyen los filtros de acetato de celulosa en la alcalinidad del agua.

### 3.3.1.4 – Ensayo en discontinuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de zinc

Para la realización de este ensayo se preparó un agua problema con una concentración de zinc conocida y se puso en contacto 300 ml de solución con distintas cantidades de filtros durante varios tiempos de contacto que variaron desde 1 minuto, 3 minutos, 5 minutos, 10 minutos, 30 minutos, 1 hora, 3 horas, 5 horas, 1 día, 3 días y 7 días, tal y como se muestra en la tabla 8.

| EXPERIMENTO | FILTROS      | CONCENTRACION<br>FILTROS (gr.l <sup>-1</sup> ) | TIEMPOS  |
|-------------|--------------|--|--|
| 15          | 3            | 10   | 1min – 3min – 5min –<br>10min – 30min – 1h – 3h –<br>5h – 1d – 3d – 7d |
| 16          | 10           | 25   |  |
| 17          | 10 troceados | 25   |  |
| 18          | 18           | 50   |  |

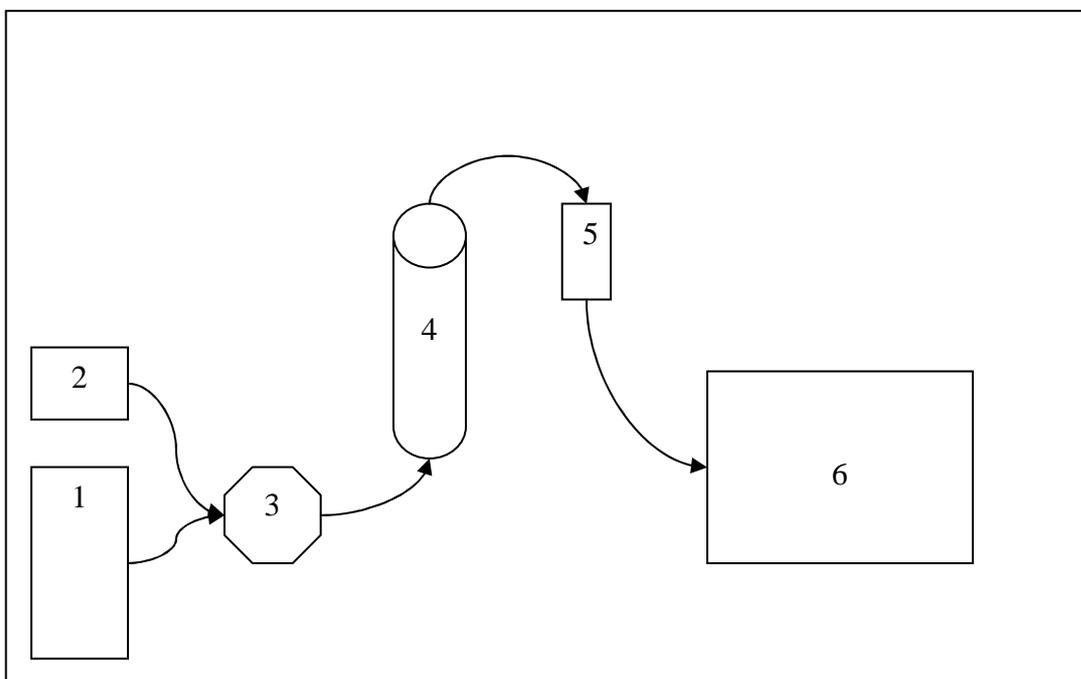
**Tabla 8:** condiciones para el ensayo sobre la capacidad de los filtros de acetato de celulosa para actuar como adsorbentes de zinc

Posteriormente se comprobaría si la concentración de zinc se mantiene tras retirar los filtros de acetato de celulosa de la solución en el espectrofotómetro de absorción atómica.

Paralelamente a este ensayo se tomaron medidas del pH de las muestras, tanto antes como después de estar en contacto con los filtros de acetato de celulosa, para analizar la relación entre ambas variables.

### 3.3.1.5 – Ensayo en continuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como regulador de la conductividad

Para analizar de que manera influyen los filtros de acetato de celulosa en la conductividad del agua se preparó un sistema de circulación de agua tal y como se muestra en el diagrama 1, que transportaría 20l de agua problema, con un caudal de 0.3l/h a través de una columna de lecho fijo en la que se dispondrían los filtros de acetato de celulosa.



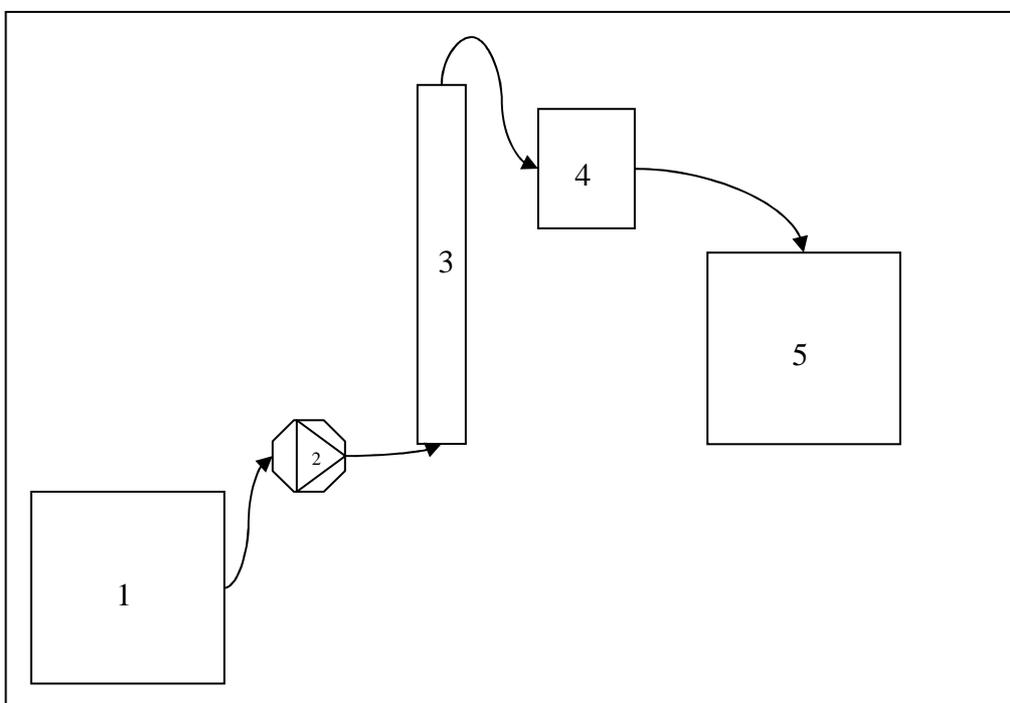
**Diagrama 1:** esquema del montaje experimental del ensayo de conductividad en columna de lecho fijo. Siendo 1: recipiente con agua mili-Q; 2: recipiente con agua con conductividad eléctrica; 3: bomba peristáltica; 4: columna de lecho fijo; 5: conductímetro; 6: recipiente para la recolección de residuos

Una vez preparado el sistema de transporte de agua se haría circular agua milli-Q a través de él y se tomarían medidas de conductividad a la salida del mismo.

Para comprobar si los filtros regulan la conductividad se insertarían 3 pulsos de conductividad conocida y se compararía la curva de entrada del pulso con la de salida tras el contacto con los filtros. [Cooney. 1999.]

### 3.3.1.6 – Ensayo en continuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de zinc

Para este ensayo se preparó un sistema similar al de el ensayo de conductividad, en el que 20l de un agua problema, con una concentración conocida de zinc, atravesaría la columna de lecho fijo, con un caudal de 0.2l/h, para posteriormente tomar muestras a la salida del circuito. Tal y como se muestra en el diagrama 2.



**Diagrama 2:** *esquema del montaje experimental del ensayo en continuo del zinc.*  
Siendo 1: recipiente de agua problema; 2: bomba peristáltica; 3: columna de lecho fijo; 4: recipiente donde introducir el electrodo del pH-metro; 5: deposito de residuos

En este caso se llevaron a cabo dos experimentos similares en los que variaba la concentración inicial de zinc, la duración del ensayo y el tiempo de recogida de muestras.

- El primer ensayo tendría una concentración inicial de zinc de aproximadamente  $6,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , que circularía por el sistema durante aproximadamente 4 días y en el que se tomarían muestras cada hora.

- El segundo ensayo se llevaría a cabo con una concentración inicial de zinc menor, aproximadamente  $1.3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , durante dos días y tomando muestras cada 15 minutos.

| EXPERIMENTO | CONCENTRACION ZINC                 | DURACION | TIEMPO MUESTRA |
|-------------|------------------------------------|----------|----------------|
| 20          | $6.5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ | 4 días   | 1 hora         |
| 21          | $1.3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ | 2 días   | 15 minutos     |

**Tabla 9:** condiciones del ensayo en continuo para el estudio de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de zinc

Tras obtener las muestras y etiquetarlas debidamente se llevarían a analizar mediante absorción atómica para comprobar si los filtros han actuado como adsorbentes de zinc.

Paralelamente, tal y como sucedía con ensayos anteriores se tomaron medidas de pH para poder comparar los resultados obtenidos. [Conney. 1999.]

### 3.3.2 – Procedimiento experimental utilizado

#### 3.3.2.1 – Limpieza de colillas

Para llevar a cabo la limpieza de las colillas se procedió a realizar sucesivos baños en agua, debido a que la mayoría de sustancias que se retienen en el filtro son solubles en ésta.

Para ello se tomaron seis muestras de cincuenta colillas cada una a (aproximadamente 8.90 gr.), y se pusieron en contacto con agua destilada según las condiciones descritas en el apartado 3.3.1.1.

Para la realización del ensayo se necesitó un bloque digestor, tubos condensadores de boca esmerilada, la campana de extracción y los reactivos necesarios para llevar a cabo un ensayo de Demanda química de oxígeno.

Se tomaron grupos de 50 colillas y se pesaron en una balanza analítica. Posteriormente algunas muestras fueron troceadas de diferentes maneras (ilustración 4) para comprobar si el tamaño de los filtros guardaba relación con la cantidad de materia orgánica extraída.

Las muestras se pusieron en contacto con 300ml de agua destilada en vasos de precipitado de 800 ml variando en algunos casos la temperatura.

Tras el tiempo de contacto se separaron las colillas del agua, se etiquetaron debidamente y se analizó la DQO de las muestras de agua. Tras comprobar que sistema de extracción era más efectivo, se realizaron lavados posteriores mediante el mismo procedimiento.

### **3.3.2.2 - Ensayo en discontinuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbente de nitratos**

En este apartado se realizó un estudio en discontinuo para evaluar la posible reutilización de los filtros limpios para retener nitratos. Para ello se prepararon dos disoluciones de 100 mg/l y 20 mg/l  $\text{NO}_3^{-2}$ , a partir de una sal de nitratos, y se pusieron en contacto con los filtros limpios variando la cantidad de filtros y el tiempo de contacto.

Para obtener una concentración de nitratos de  $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  se pesaron 0.202 g de nitrato de aluminio y se llevaron a un volumen de 1 litro; una vez obtenida la disolución de  $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  se pipetearon 200 ml de ésta y se llevaron a 1 l para obtener la disolución de  $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$

Una vez preparadas las dos disoluciones, se procedió a ponerlas en contacto con los filtros de acetato de celulosa, sobre un oscilador magnético. En erlenmeyers con tapa de rosca se pusieron en contacto filtros de acetato de celulosa con las dos disoluciones de nitratos, durante los tiempos establecidos para el ensayo.

Tanto la disolución de  $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  como la de  $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  se pusieron en contacto con 3 y 18 filtros sobre un oscilador magnético (Heidolph unimax 2010) a 125 rpm. Siendo retirados y separados tras el periodo de tiempo estimado.

Una vez transcurrido ese tiempo, se llevó la disolución a una batería de filtrado múltiple Millipore de 12 unidades y se etiquetaron las muestras obtenidas para un posterior análisis mediante los test de nitratos Merck y el Spectroquant.

### **3.3.2.3 – Ensayo en discontinuo para el estudio de los filtros de acetato de celulosa como reguladores del pH del agua**

En primer lugar se procedió a preparar siete muestras de agua con diferentes valores de pH: 1.86, 3.33, 5.77, 7.02, 9.52, 11.98 y 12.65. Para bajar el pH del agua se utilizó HCl al 95-97% y para aumentarlo lentejas de sosa cáustica.

Se tomaron 300 ml de agua problema y se pusieron en contacto con filtros de acetato de celulosa durante una semana de tiempo, variando en cada caso el número de filtros: 3, 10, 10 filtros troceados y 18 filtros.

El agua problema y los filtros se colocaron en erlenmeyers de tapa de rosca y se llevaron al oscilador magnético que estuvo funcionando todo el tiempo a 124 rpm.

Una vez transcurrido el tiempo de contacto se separaron los filtros y las muestras de agua y se midió el pH introduciendo el electrodo del pH-metro en la muestra resultante.

### **3.3.2.4 – Ensayo en discontinuo para el estudio de los filtros de acetato de celulosa como adsorbente de zinc**

Para realizar el ensayo fue necesario preparar un agua con fuerza iónica  $10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  y una concentración de Zn de  $10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ , a partir de una solución patrón de Zn.

Una vez conseguido el agua problema, se puso en contacto con los filtros de acetato de celulosa, variando el tiempo de contacto y el número de filtros de cada muestra.

Se preparó un solución con fuerza iónica  $10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  a partir de cloruro sódico, pesando 1.1688 g de sal y se añadiéndolo a 2000 ml de agua milli-Q.

Por otro lado se pipetearon 13.08 ml de patrón de Zn y se llevaron a 2000 ml, añadiendo el agua con fuerza iónica.

Una vez preparada el agua problema con la concentración deseada de Zn ( $10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ), se procedió a medir el pH antes de ponerla en contacto con los

filtros de acetato de celulosa en series de 3, 10, 18 y 10 filtros troceados, durante un tiempo de exposición que varió desde 1 minuto a una semana.

Transcurrido el tiempo de contacto, se llevaban las muestras a la batería de filtrado y se etiquetaban las muestras, se media el pH introduciendo el electrodo y se almacenaban para un posterior análisis mediante absorción atómica.

### **3.3.2.5 – Ensayo en continuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como regulador de la conductividad**

En este apartado se pretendía estudiar como influyen los filtros de acetato de celulosa en la conductividad eléctrica. Para ello se necesitó preparar un sistema de circulación de agua a través de una columna de lecho fijo con 32 filtros de acetato de celulosa como adsorbente. A través de la columna circulaba agua milli-Q con un caudal de 0.30 l/h y se alternaban pulsos de un agua problema con una concentración de cloruro sódico  $0.1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ , de 5, 10 y 15 minutos.

El primer paso fue preparar el agua con una concentración de NaCl  $0.1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ , para ello pesamos en una balanza analítica 5.844 g de NaCl y se disolvieron en un litro de agua.

Una vez preparada el agua problema se realizó la instalación de la columna, se reguló la bomba al caudal deseado y se instaló el conductímetro a la salida de la columna.

El experimento consistió en hacer circular agua milli-Q por el sistema e insertar pulsos con una conductividad conocida ( $11300 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), midiendo en intervalos de 5 minutos la conductividad, para comprobar si realmente los filtros eran capaces de regular la conductividad eléctrica del agua problema y así poder ser utilizados como sistema tampón.

### 3.3.2.6 – Ensayo en continuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de zinc

El ensayo en continuo sobre la capacidad de absorber zinc consistió en dos experimentos independientes. En ambos casos una vez completado el circuito que debía recorrer el agua, tal y como se muestra en el diagrama 2, se ajustó la bomba con un caudal de 0,2 l/h, se completó la columna con 32 filtros de acetato de celulosa cortados transversalmente (aproximadamente 5,221 g de acetato de celulosa) y se preparó el agua problema que serviría de alimento a la bomba.

- En el primer caso (exp. 20) se preparó un agua problema con una concentración inicial de zinc de  $6.5 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  y una fuerza iónica de  $10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ . Para ello se tuvieron que pesar 11,688 g de NaCl en la balanza analítica y disolverlos en cien ml de agua milli-Q. Acto seguido se pipetearon 130,8 ml de la solución patrón de Zn y se llevaron a 20 litros junto con el cloruro sódico disuelto.

Una vez preparada el agua problema se comenzó a bombear y a recoger muestras cada hora durante 4 días, durante ese tiempo se tomaron un total de 50 muestras a lo largo de 100 horas, ya que durante la noche fue imposible poder continuar tomando muestras.

- En el segundo caso (exp. 21) el agua problema se preparó con una concentración inicial de  $1.3 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  y una fuerza iónica de  $10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ . En esta ocasión se preparó la fuerza iónica del agua de manera similar, pero se pipetearon 26.2 ml de la solución patrón de zinc. En esta ocasión se recogieron muestras cada 15 minutos durante dos días, para un total de 54 muestras.

Una vez tomadas las muestras y tras etiquetarlas debidamente, se guardaron en el frigorífico para posteriormente determinar la cantidad de Zn retenido en la columna mediante absorción atómica.

## 4 – RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se muestran los resultados obtenidos y la posterior discusión de los resultados

### 4.1 – Limpieza de colillas

A continuación se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de limpieza, referidos en los apartados 3.3.1.1 y 3.3.2.1 sobre diseño y procedimiento experimental.

En todos los casos el volumen de agua fue de 300 ml y se pusieron en contacto con 50 colillas de cigarrillo durante los tiempos establecidos.

La tabla 10 muestra los resultados en  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de DQO liberada tras el proceso de limpieza utilizado:

| EXPERIMENTO · MUESTRA | TEMPERATURA | CORTE FILTROS           | TIEMPO  | DQO ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) |
|-----------------------|-------------|-------------------------|---------|---------------------------------------|
| 1                     | 100°C       | Longitudinal            | 40 min  | 4108.8                                |
| 2                     | Ambiente    | Longitudinal            | 60 min  | 2611.2                                |
| 3                     | 80°C        | Longitudinal            | 60 min  | 4147.2                                |
| 4                     | 80°C        | 2cortes perpendiculares | 60 min  | 4185.6                                |
| 5                     | 80°C        | Cortes en disco         | 60 min  | 4992.0                                |
| 6                     | 80°C        | Cortes en disco         | 120 min | 4826.1                                |

*Tabla 10: resultados obtenidos tras la digestión de las primeras 6 muestras*

A la vista de los resultados obtenidos se deduce que a menor tamaño de los pedazos de acetato de celulosa mayor cantidad de materia orgánica se desprende, tal y como se observa en los resultados obtenidos con la muestra 5, donde los filtros se cortaron en 5 discos de aproximadamente 3mm de grosor.

Por otra parte al aumentar el tiempo de contacto de los filtros con el agua, el resultado no mejoró, tal y como se observa en la muestra 6, ya que ésta se preparó del mismo modo que la muestra 5, y sin embargo no liberó tanta cantidad de materia orgánica.

Del mismo modo se pudo comprobar que la temperatura del agua, también es importante a la hora de determinar el método más eficaz de limpieza, tal y como se observa al comparar las muestras 1, 2 y 5. Así pues el agua caliente,

alrededor de 80 °C eliminó mayor cantidad de materia orgánica que el agua a temperatura ambiente y el agua próxima a los 100 °C.

Atendiendo a las condiciones que más materia orgánica liberaron (menor tamaño de filtros, temperatura elevada y duración aproximada de 1 hora), se realizaron sucesivos lavados de las muestras 3, 4 y 5, manteniendo en todos los casos las mismas características de temperatura y tiempo de contacto que en el ensayo original. En la siguiente tabla se pueden observar los resultados obtenidos:

| EXPERIMENTO | MUESTRA | LAVADO | DQO (mg·l <sup>-1</sup> ) |
|-------------|---------|--------|---------------------------|
| 3.2         | 3       | 2      | 1536.0                    |
| 4.2         | 4       | 2      | 1344.0                    |
| 5.2         | 5       | 2      | 1804.8                    |

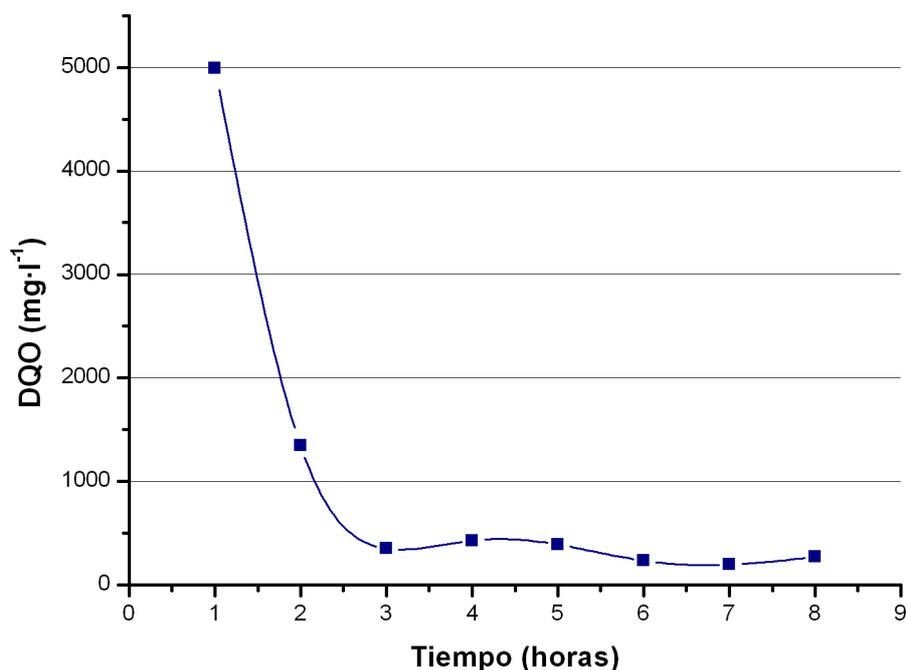
**Tabla 11:** resultados obtenidos en los sucesivos lavados de las muestras escogidas

Tras el segundo lavado de las muestras 3, 4 y 5 se confirmó que el método utilizado en la muestra 5 era el que mayor cantidad de materia orgánica liberaba, por lo tanto se realizaron sucesivos ensayos con esa muestra.

| EXPERIMENTO | MUESTRA | LAVADO | DQO (mg·l <sup>-1</sup> ) |
|-------------|---------|--------|---------------------------|
| 5.3         | 5       | 3      | 350.3                     |
| 5.4         | 5       | 4      | 428.1                     |
| 5.5         | 5       | 5      | 389.2                     |
| 5.6         | 5       | 6      | 233.5                     |
| 5.7         | 5       | 7      | 194.6                     |
| 5.8         | 5       | 8      | 272.44                    |

**Tabla 12:** resultados obtenidos tras los lavados finales a la muestra 5

Podemos comprobar como la materia orgánica extraída de las colillas disminuye a medida que va recibiendo lavados, hasta alcanzar un punto de inflexión a partir del cual la materia orgánica no se redujo más, tal y como se puede observar en la figura siguiente:



*Figura 2: evolución de la liberación de materia orgánica en la muestra n° 5*

## **4.2 – Ensayo en discontinuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de nitratos**

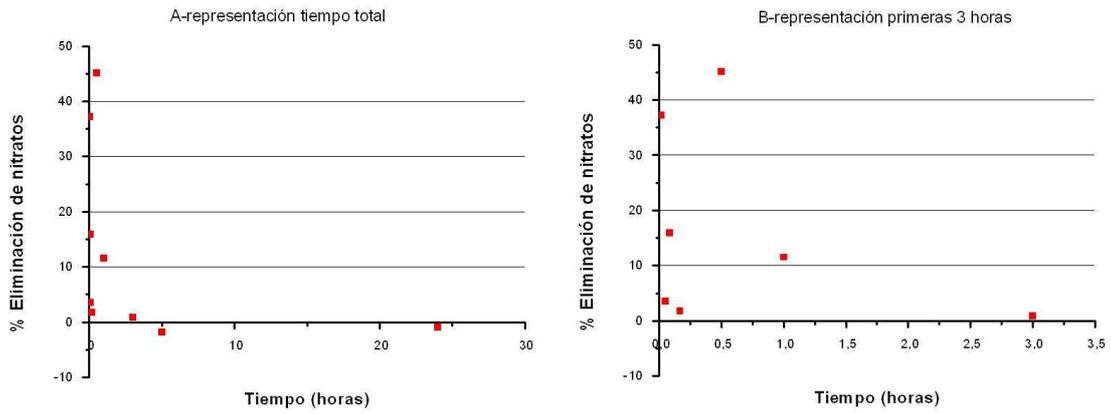
En este ensayo se pretendía comprobar si los filtros de acetato de celulosa presentaban alguna utilidad como reguladores de nitratos en aguas contaminadas.

Para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de nitratos se plantearon cuatro experimentos, como se muestra en la tabla siguiente, donde se ponían en contacto dos soluciones, con una concentración conocida de nitratos, con los filtros de cigarrillo. Una vez separados los filtros, el agua resultante se medía con los test de nitratos MERCK para averiguar la cantidad de nitratos que habían sido retenidos.

| EXPERIMENTO | CONCENTRACION INICIAL DE NITRATOS | FILTROS | CONCENTRACION FILTROS (mg·l <sup>-1</sup> ) | TIEMPO   | CANTIDAD NO <sub>3</sub> (mg·l <sup>-1</sup> ) | %RETENIDO |
|-------------|-----------------------------------|---------|---|----------|--|-----------|
| 7           | 100 mg·l <sup>-1</sup>            | 3       | 10  | 1 min    | 62,83  | 37,16     |
|             |                                   |         |   | 3 min    | 96,46  | 3,53      |
|             |                                   |         |   | 5 min    | 84,07  | 15,92     |
|             |                                   |         |   | 10 min   | 98,23  | 1,76      |
|             |                                   |         |   | 30 min   | 54,87  | 45,13     |
|             |                                   |         |   | 1 hora   | 88,50  | 11,50     |
|             |                                   |         |   | 3 horas  | 99,12  | 0,88      |
|             |                                   |         |   | 5 horas  | 101,77   | -1,77     |
|             |                                   |         |   | 24 horas | 100,89   | -0,89     |
| 8           | 20 mg·l <sup>-1</sup>             | 3       | 10  | 1 min    | 19,91  | 0,00      |
|             |                                   |         |   | 3 min    | 17,70  | 11,11     |
|             |                                   |         |   | 5 min    | 18,58  | 6,66      |
|             |                                   |         |   | 10 min   | 19,91  | 0,00      |
|             |                                   |         |   | 30 min   | 19,47  | 2,22      |
|             |                                   |         |   | 1 hora   | 18,58  | 6,66      |
|             |                                   |         |   | 3 horas  | 19,02  | 4,44      |
|             |                                   |         |   | 5 horas  | 19,02  | 4,44      |
|             |                                   |         |   | 24 horas | 19,91  | 0,00      |
| 8           | 100 mg·l <sup>-1</sup>            | 18      | 50  | 1 min    | 76,995   | 23,005    |
|             |                                   |         |   | 3 min    | 77,88  | 22,12     |
|             |                                   |         |   | 5 min    | 84,075   | 15,925    |
|             |                                   |         |   | 10 min   | 89,385   | 10,615    |
|             |                                   |         |   | 30 min   | 91,155   | 8,845     |
|             |                                   |         |   | 1 hora   | 96,465   | 3,535     |
|             |                                   |         |   | 3 horas  | 107,085  | -7,085    |
|             |                                   |         |   | 5 horas  | 97,35  | 2,65      |
|             |                                   |         |   | 24 horas | 92,04  | 7,96      |
| 10          | 20 mg·l <sup>-1</sup>             | 18      | 50  | 1 min    | 18,14  | 12,76     |
|             |                                   |         |   | 3 min    | 19,47  | 6,38      |
|             |                                   |         |   | 5 min    | 20,35  | 2,12      |
|             |                                   |         |   | 10 min   | 22,12  | -6,38     |
|             |                                   |         |   | 30 min   | 23,89  | -14,89    |
|             |                                   |         |   | 1 hora   | 21,68  | -4,25     |
|             |                                   |         |   | 3 horas  | 26,10  | -25,53    |
|             |                                   |         |   | 5 horas  | 21,68  | -4,25     |
|             |                                   |         |   | 24 horas | 24,33  | -17,02    |

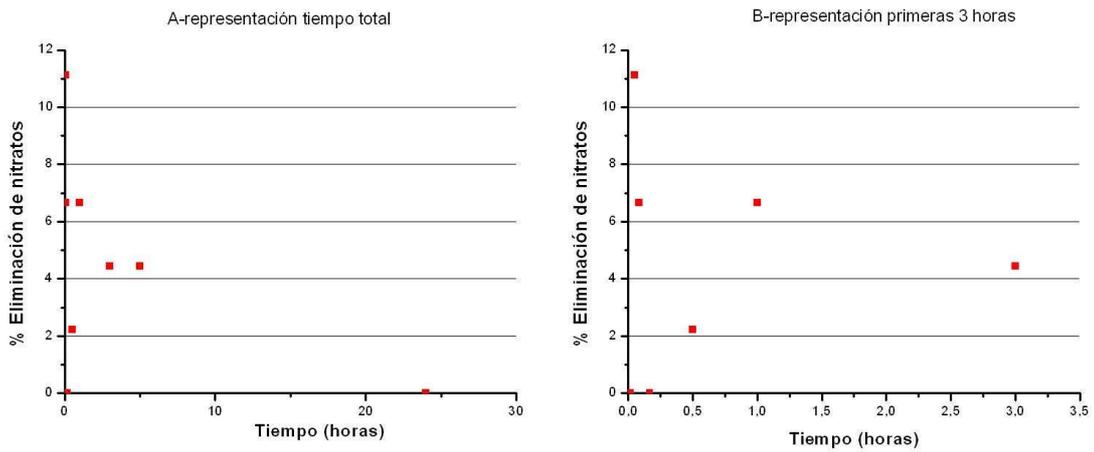
**Tabla 13:** resumen del ensayo sobre la capacidad de los filtros para actuar como adsorbentes de nitratos

A continuación se representa el porcentaje retenido de nitratos en el experimento 7 (100 mg·l<sup>-1</sup> y 3 filtros)



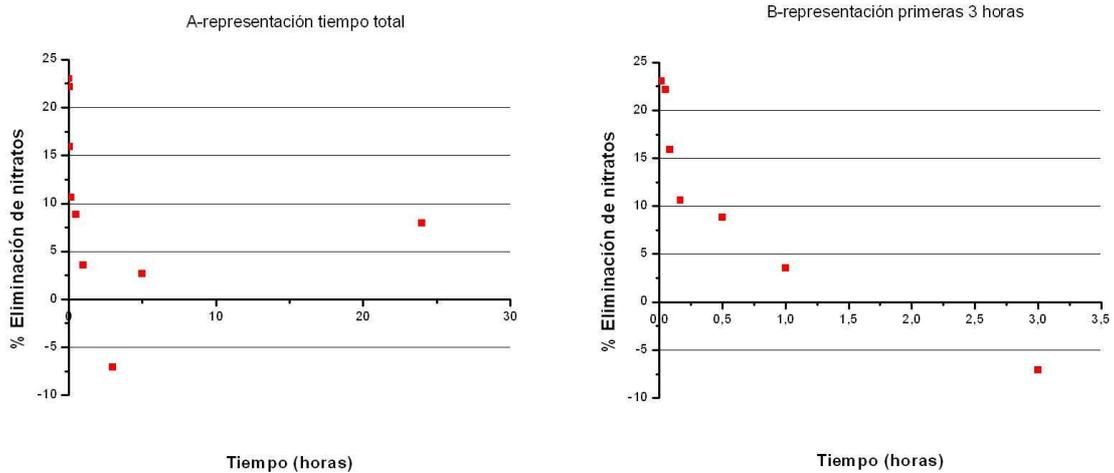
**Figura 3:** Porcentaje de nitratos eliminados en el experimento 7, siendo A la representación del tiempo total del ensayo mientras que B es la representación de las primeras 3 horas de ensayo

Las mismas representaciones en el experimento 8 (20 mg-I-1 y 3 filtros):



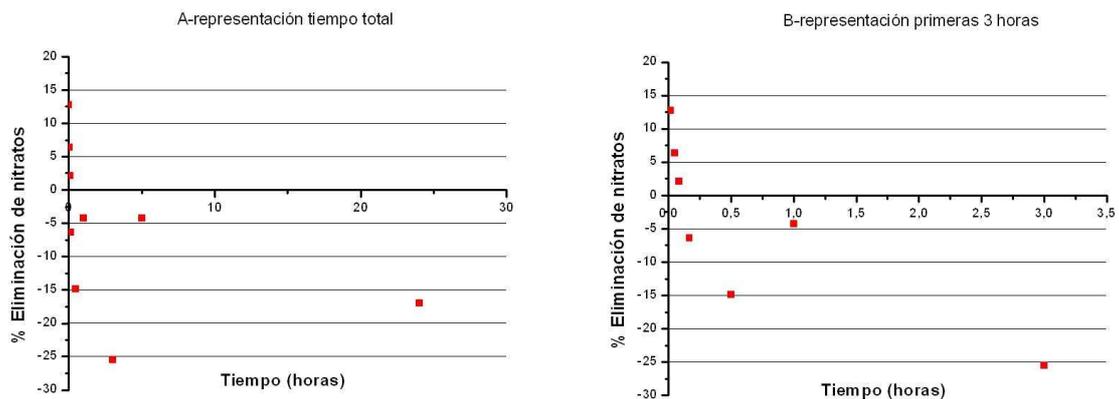
**Figura 4:** Porcentaje de nitratos eliminados en el experimento 8, siendo A la representación del tiempo total del ensayo mientras que B es la representación de las primeras 3 horas de ensayo

### Experimento 9 (100 mg·l<sup>-1</sup> y 18 filtros):



**Figura 5:** Porcentaje de nitratos eliminados en el experimento 9, siendo A la representación del tiempo total del ensayo mientras que B es la representación de las primeras 3 horas de ensayo

### Experimento 10 (20 mg·l<sup>-1</sup> y 18 filtros):



**Figura 6:** Porcentaje de nitratos eliminados en el experimento 10, siendo A la representación del tiempo total del ensayo mientras que B es la representación de las primeras 3 horas de ensayo

Se observa que la cantidad de nitratos disminuye tras el contacto con los filtros de acetato de celulosa, pero transcurrido un tiempo los valores se vuelven negativos, probablemente por la liberación de algún tipo de compuesto nitrogenado por parte de los filtros de acetato de celulosa.

La eliminación no es muy elevada y los tiempos en los que elimina son muy cortos, por lo que no existe una aplicabilidad para este método, o al menos unas pruebas concluyentes del mismo.

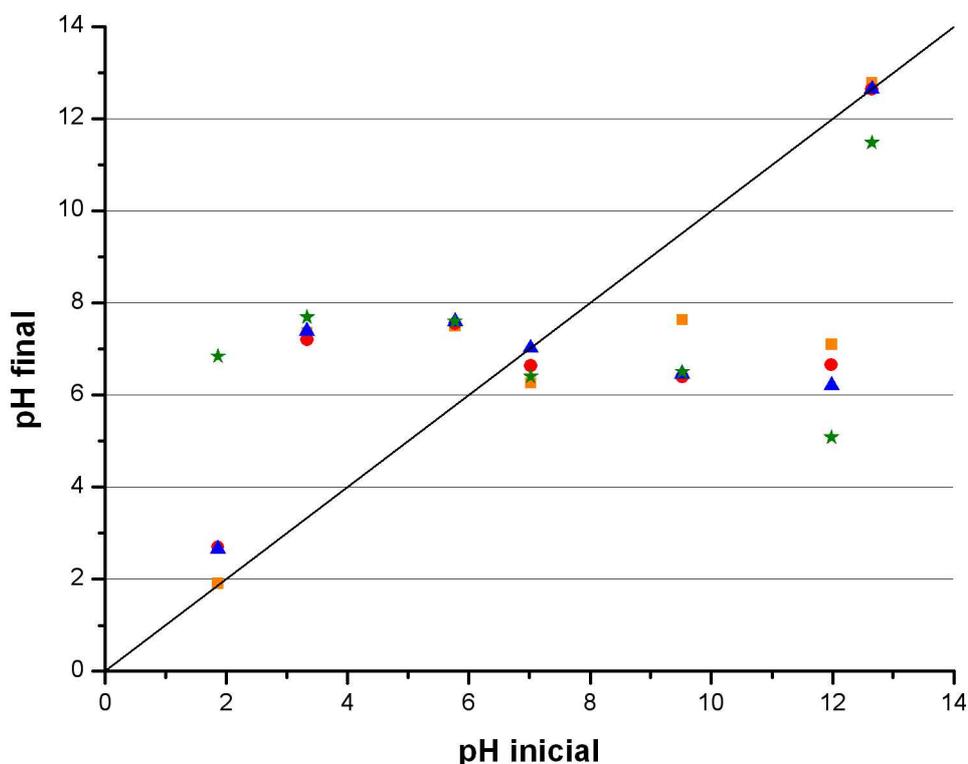
### **4.3 – Ensayo en discontinuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como reguladores del pH**

En este ensayo se pretendía averiguar como son capaces de influir los filtros de acetato de celulosa en el pH de una disolución. Para ello se prepararon diferentes disoluciones con distintos valores de pH y se pusieron en contacto con los filtros. Una vez transcurrido el tiempo de contacto (7 días), se procedió a separar los filtros del agua problema. Una vez separados, se midió el pH del agua resultante obteniendo los siguientes resultados para los experimentos 11, 12, 13 y 14.

| EXPERIMENTO | FILTROS      | CONCENTRACION<br>FILTROS (gr·l-1) | pH INICIAL | pH FINAL |
|-------------|--------------|-----------------------------------|------------|----------|
| 11          | 3            | 10                                | 1,86       | 1,91     |
|             |              |                                   | 3,33       | 7,35     |
|             |              |                                   | 5,77       | 7,50     |
|             |              |                                   | 7,02       | 6,26     |
|             |              |                                   | 9,52       | 7,63     |
|             |              |                                   | 11,98      | 7,10     |
|             |              |                                   | 12,65      | 12,78    |
| 12          | 10           | 25                                | 1,86       | 2,70     |
|             |              |                                   | 3,33       | 7,20     |
|             |              |                                   | 5,77       | 7,55     |
|             |              |                                   | 7,02       | 6,63     |
|             |              |                                   | 9,52       | 6,39     |
|             |              |                                   | 11,98      | 6,65     |
|             |              |                                   | 12,65      | 12,63    |
| 13          | 10 troceados | 25                                | 1,86       | 2,66     |
|             |              |                                   | 3,33       | 7,39     |
|             |              |                                   | 5,77       | 7,66     |
|             |              |                                   | 7,02       | 7,02     |
|             |              |                                   | 9,52       | 6,46     |
|             |              |                                   | 11,98      | 6,21     |
|             |              |                                   | 12,65      | 12,64    |
| 14          | 18           | 50                                | 1,86       | 6,84     |
|             |              |                                   | 3,33       | 7,69     |
|             |              |                                   | 5,77       | 7,60     |
|             |              |                                   | 7,02       | 6,40     |
|             |              |                                   | 9,52       | 6,50     |
|             |              |                                   | 11,98      | 5,08     |
|             |              |                                   | 12,65      | 11,48    |

*Tabla 14: valores de pH obtenidos tras los diferentes tiempos de contacto*

A continuación se muestra la representación grafica de los resultados obtenidos:



**Figura 7:** valores de pH tras 7 días de tiempo de contacto. Siendo ■ muestra con 3 filtros de acetato de celulosa, correspondiente al experimento 11; ● muestra con 10 filtros de acetato de celulosa, correspondiente al experimento 12; ▲ muestra con 10 filtros troceados de acetato de celulosa, correspondiente al experimento 13 y ★ muestra con 18 filtros de acetato de celulosa, correspondiente al experimento 14.

Tras el tiempo de contacto, se observó que las muestras con pH ácido, como son las de pH 1,86; 3,33 y 5,77, tienden a aumentar el pH, sobre todo aquellas con mayor número de filtros de acetato de celulosa, acercándose a valores próximos a la neutralidad (pH=7).

En el caso de las muestras básicas, como son las de pH 9,52 y 11,98 el pH tiende a bajar, sobrepasando la neutralidad y acercándose a valores un tanto ácidos (próximos a pH=6).

En el caso de la muestra con pH cercano a 13, se observó un pequeño descenso del pH en la muestra que estuvo en contacto con los 18 filtros de acetato de celulosa.

Podemos concluir, en este caso, que para un amplio rango de pH y diferentes condiciones de cantidad de filtros (10, 25 y 50 gr·l<sup>-1</sup>) éstos son

capaces de regular el pH de un agua mostrando así una alta capacidad tamponadora.

#### **4.4 – Ensayo en discontinuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de zinc**

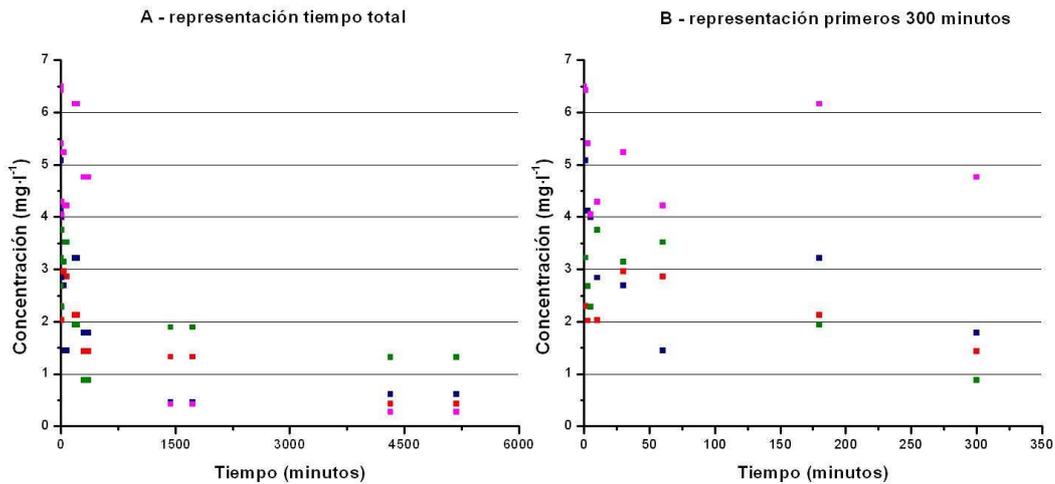
A través de este ensayo se pretendía averiguar, si al igual que sucede al inhalar humo, los filtros de acetato de celulosa son capaces de retener zinc de una solución acuosa con metales pesados disueltos.

Para ello se llevaron a cabo los experimentos 15, 16, 17 y 18 descritos en el apartado 3.3.1.4 mediante el procedimiento explicado en el apartado 3.3.2.4.

Una vez calibrado el espectrofotómetro, tal y como se explica en el apartado 3.2.2.3 se procedió a medir la absorbancia de las muestras recogidas obteniendo los siguientes resultados:

| EXPERIMENTO                               | 11                | 12                 | 13                           | 14                 |
|---|-------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|
| CONCENT. FILTROS<br>(mg·l <sup>-1</sup> ) | 10<br>(3 filtros) | 25<br>(10 filtros) | 25<br>(10 filtros troceados) | 50<br>(18 filtros) |
| TIEMPO (min.)                             |                   |                    |                              |                    |
| 0   | 6,50              | 6,50               | 6,50                         | 6,50               |
| 1   | 6,42              | 5,08               | 3,22                         | 2,29               |
| 3   | 5,40              | 4,12               | 2,67                         | 2,02               |
| 5   | 4,05              | 4,01               | 2,28                         | 3,99               |
| 10  | 4,29              | 2,84               | 3,75                         | 2,03               |
| 30  | 5,23              | 2,69               | 3,14                         | 2,96               |
| 60  | 4,22              | 1,44               | 3,52                         | 2,86               |
| 180                                       | 6,17              | 3,22               | 1,94                         | 2,12               |
| 300                                       | 4,77              | 1,78               | 0,89                         | 1,43               |
| 1440                                      | 0,42              | 0,47               | 1,89                         | 1,33               |
| 4320                                      | 0,28              | 0,62               | 1,32                         | 0,43               |

*Tabla 15: Valores de concentración de zinc medidos en la disolución tras el tiempo de contacto correspondiente.*



**Figura 8:** comparativa distinto número de filtros de acetato de celulosa. Siendo ■ muestra con 3 filtros de acetato de celulosa, ■ muestra con 10 filtros, ■ muestra con 10 filtros troceados y ■ muestra con 18 filtros. Para A el total del tiempo de exposición y B los primeros 300 minutos.

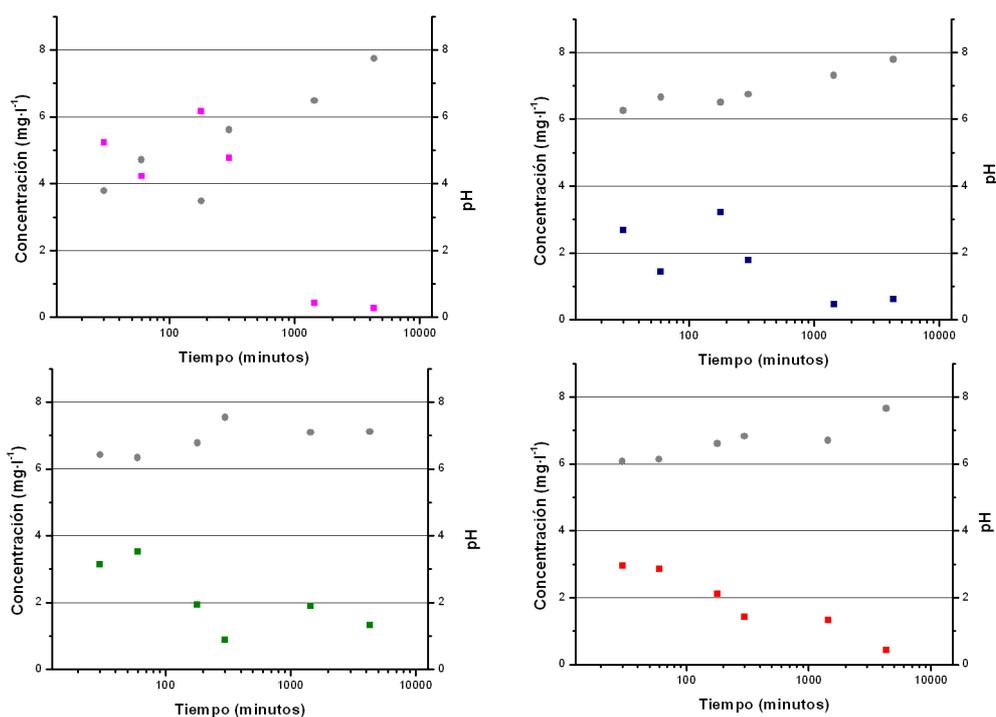
A la vista de los resultados podemos afirmar que los filtros de acetato de celulosa son capaces de retener Zn en una muestra de agua, ya que la concentración inicial de la muestra era de 6,5 ppm de Zn y en todos los casos las concentraciones medidas después del tiempo de contacto es menor a esa cantidad.

También se observa que, a igual tiempo de contacto, retiene mayor cantidad de Zn las muestras de menor tamaño (diez filtros troceados), ya que tienen mayor superficie específica. Y que pasado un cierto tiempo, los filtros comienzan a liberar parte del Zn retenido, de ahí el aumento de la cantidad de Zn en las últimas muestras.

Al mismo tiempo que se llevaba a cabo el ensayo de concentración de Zn en las distintas soluciones, se tomaron medidas de los valores de pH de cada una de las muestras para poder analizar ambos factores conjuntamente, obteniendo los siguientes resultados:

| EXPERIMENTO                               | 11                | 12                 | 13                           | 14                 |
|---|-------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|
| CONCENT. FILTROS<br>(mg·l <sup>-1</sup> ) | 10<br>(3 filtros) | 25<br>(10 filtros) | 25<br>(10 filtros troceados) | 50<br>(18 filtros) |
| TIEMPO (min.)                             |                   |                    |                              |                    |
| 0   | 3,09              | 3,09               | 3,09                         | 3,09               |
| 1   | 3,28              | 3,79               | 3,65                         | 4,52               |
| 3   | 3,32              | 4,81               | 4,68                         | 5,18               |
| 5   | 3,56              | 4,99               | 5,09                         | 5,29               |
| 10  | 3,73              | 5,73               | 5,91                         | 5,80               |
| 30  | 3,78              | 6,26               | 6,42                         | 6,07               |
| 60  | 4,71              | 6,66               | 6,33                         | 6,14               |
| 180                                       | 3,48              | 6,50               | 6,77                         | 6,61               |
| 300                                       | 5,61              | 6,75               | 7,54                         | 6,83               |
| 1440                                      | 6,48              | 7,31               | 7,09                         | 6,70               |
| 4320                                      | 7,74              | 7,78               | 7,11                         | 7,66               |

**Tabla 16:** valores de pH obtenidos en el ensayo en discontinuo sobre la retención de zinc



**Figura 9:** relación concentración de Zn con pH en las diferentes experimentos (11, 12, 13 y 14). Siendo ■ la muestra con 3 filtros de acetato de celulosa, ■ la muestra de 10 filtros, ■ la muestra de 10 filtros troceados, ■ la de 18 filtros y ● los valores de pH.

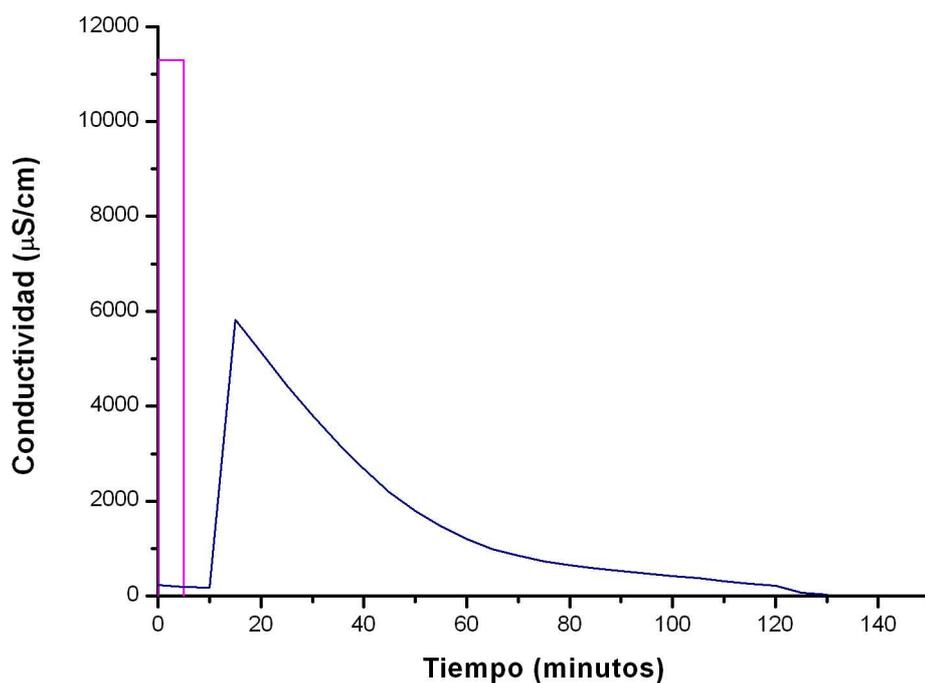
Atendiendo a la relación entre el pH y la concentración de Zn, podemos afirmar que presentan una relación directa, aumentando la retención de zinc al aumentar el pH de las muestras, lo que estaría asociado a un intercambio de protones durante el proceso de retención del metal. No obstante, la capacidad

amortiguadora del sólido (como se puede observar en el apartado 4.3) provoca una regulación del mismo hacia pH neutro (próximos a 7).

#### **4.5 – Ensayo en continuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como reguladores de la conductividad**

En este ensayo se pretendía estudiar si los filtros de acetato de celulosa podían ser utilizados para regular la conductividad eléctrica en aguas con problemas de salinidad, con objeto de encontrar una utilidad que justificase su limpieza y reutilización. Para ello se construyó el sistema de circulación de agua que se explica en el apartado 3.3.1.5 y se llevo a cabo el experimento 15 introduciendo 3 pulsos de agua problema con conductividad eléctrica conocida tal y como se describe en el apartado 3.3.2.5.

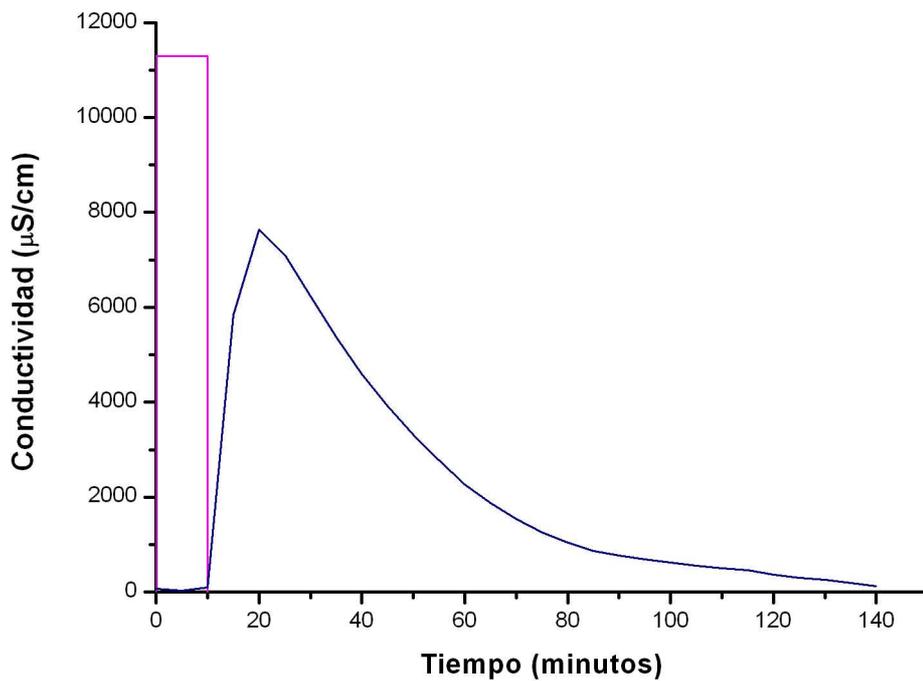
Una vez puesto en marcha el sistema, se tomaron medidas con el conductímetro cada cinco minutos, al aproximarse los valores a cero se introducían los pulsos. En el primer caso cinco minutos:



**Figura 10:** representación grafica del 1º pulso del experimento 15, con una duración de 5 minutos. Siendo — curva de entrada y — la curva de salida

Se observó que tras introducir el pulso, la conductividad eléctrica va aumentando progresivamente hasta alcanzar un máximo de 5820  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Una vez alcanzado ese valor, la conductividad comienza a decrecer hasta volver a valores cercanos a cero pasados 115 minutos.

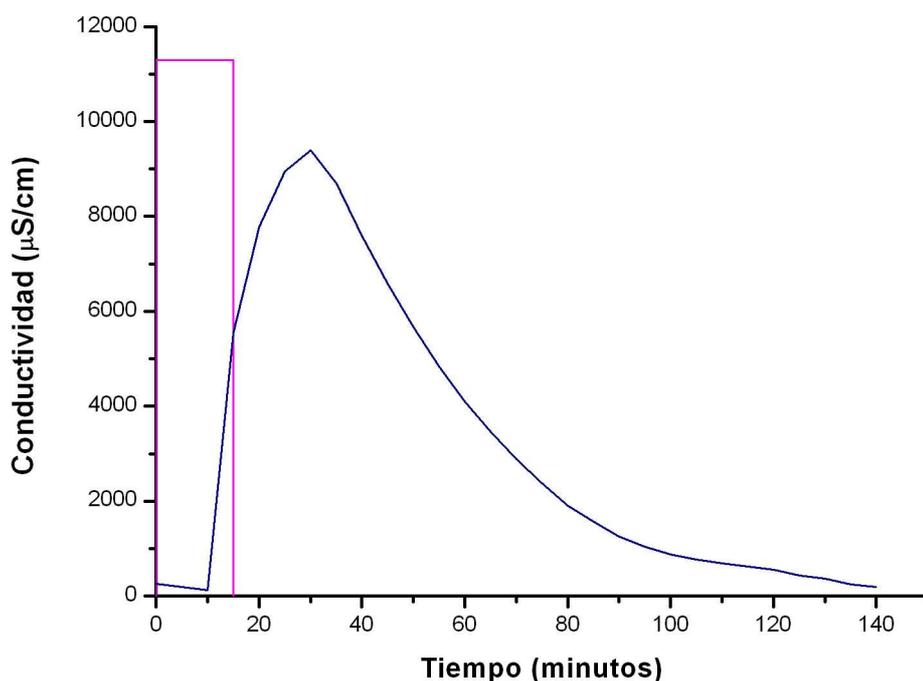
Una vez estabilizada la columna y una vez comprobado que la conductividad no volvía a aumentar, se procedió a introducir el segundo pulso, esta vez de una duración de diez minutos:



**Figura 11** : representación grafica del 2º pulso del experimento 15, con una duración de 10 minutos. Siendo - curva de entrada y - la curva de salida

En este caso, la conductividad aumentó hasta alcanzar un valor máximo de 7640  $\mu\text{S/cm}$ , y vuelve a tomar valores cercanos a cero a los 130 minutos de retirar el pulso.

Por último, y una vez comprobado que la conductividad se mantenía cercana a 0  $\mu\text{S/cm}$ , se introdujo un pulso de 15 minutos:



**Figura 12:** representación grafica del 3º pulso del experimento 15 con una duración de 15 minutos. Siendo - curva de entrada y - la curva de salida

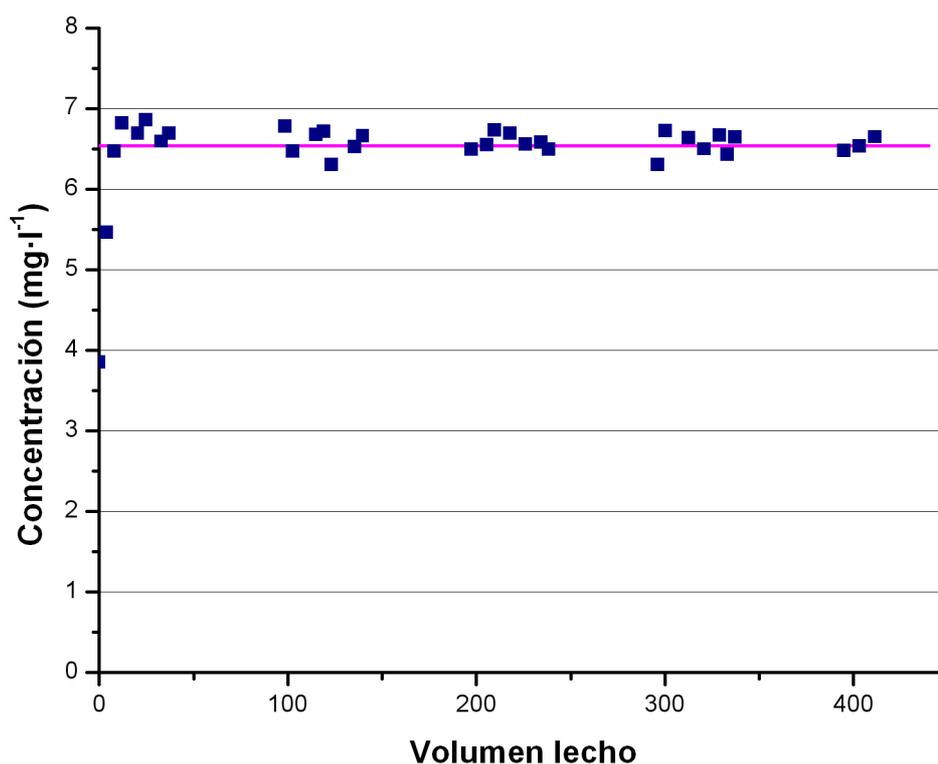
En esta ocasión la conductividad llegó a alcanzar un valor de 9390  $\mu\text{S/cm}$ , todavía por debajo del pulso introducido de 11300  $\mu\text{S/cm}$ . Poco a poco la conductividad disminuyó hasta alcanzar de nuevo valores próximos a 0  $\mu\text{S/cm}$  a los 135 minutos.

Teniendo en cuenta el tiempo necesario para alcanzar valores próximos a cero, cabe suponer que los filtros de acetato de celulosa no solo, no retienen las sales disueltas en el agua, sino que liberan alguna sustancia que aumenta la conductividad del agua, tal y como se observa al comparar las áreas de ambas curvas. La forma, no simétrica, de la curva de salida indica que existe dispersión y la liberación se produce de manera gradual.

## 4.6 – Ensayo en continuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de zinc

Una vez comprobado como influyen los filtros de acetato de celulosa con el zinc en discontinuo, se planteó un nuevo ensayo en continuo tal y como se describe en el apartado 3.3.1.6 en el que se llevaron a cabo 2 experimentos, el 20 y el 21 descritos en el apartado 3.3.2.6.

Tras analizar las muestras del experimento 20, con aproximadamente 6,5 ppm de zinc, en el espectrofotómetro de absorción atómica obtenemos los siguientes resultados:

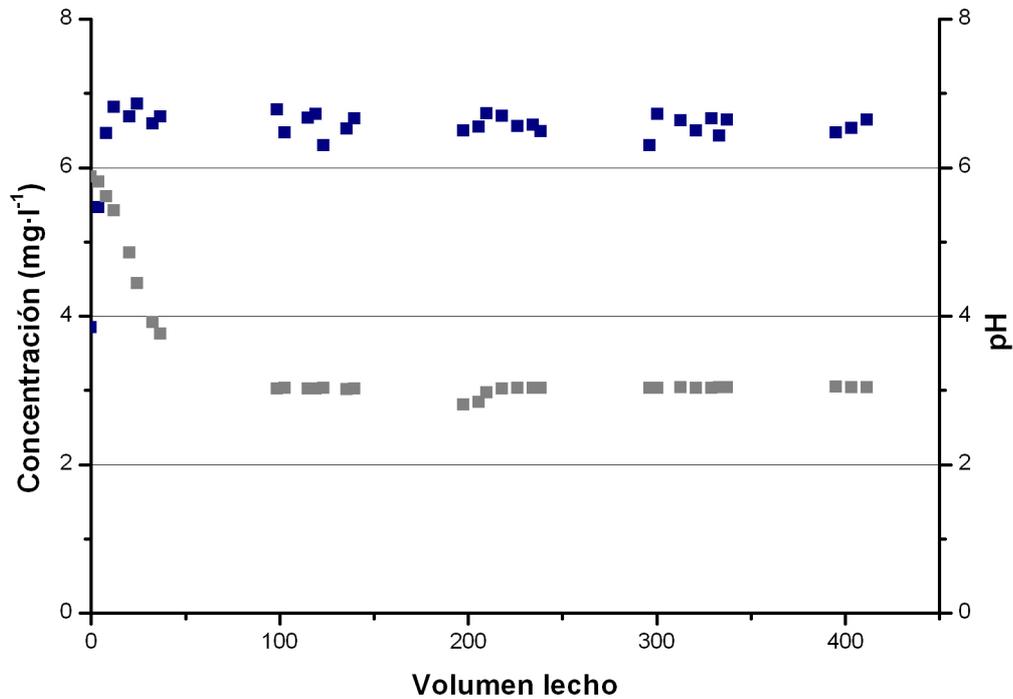


**Figura 13:** concentración de Zn en columna de lecho fijo para el experimento 20. Siendo ■ serie de medidas obtenidas con las muestras y – la concentración inicial de Zn en el agua problema

Se observó que la concentración de Zn de las primeras muestras era inferior a la del agua problema, aunque al poco tiempo, a los 12 volúmenes de lecho, los valores de las muestras se fueron igualando, e incluso en algunos

ocasiones sobrepasando la medida de entrada, ello es debido a que en poco tiempo los filtros de acetato de celulosa se colmatan y no son capaces de absorber mayor cantidad de Zn, pasando entonces a liberar parte del mismo.

Relacionando los valores de concentración de zinc con los valores de pH medidos, obtenemos la siguiente grafica:

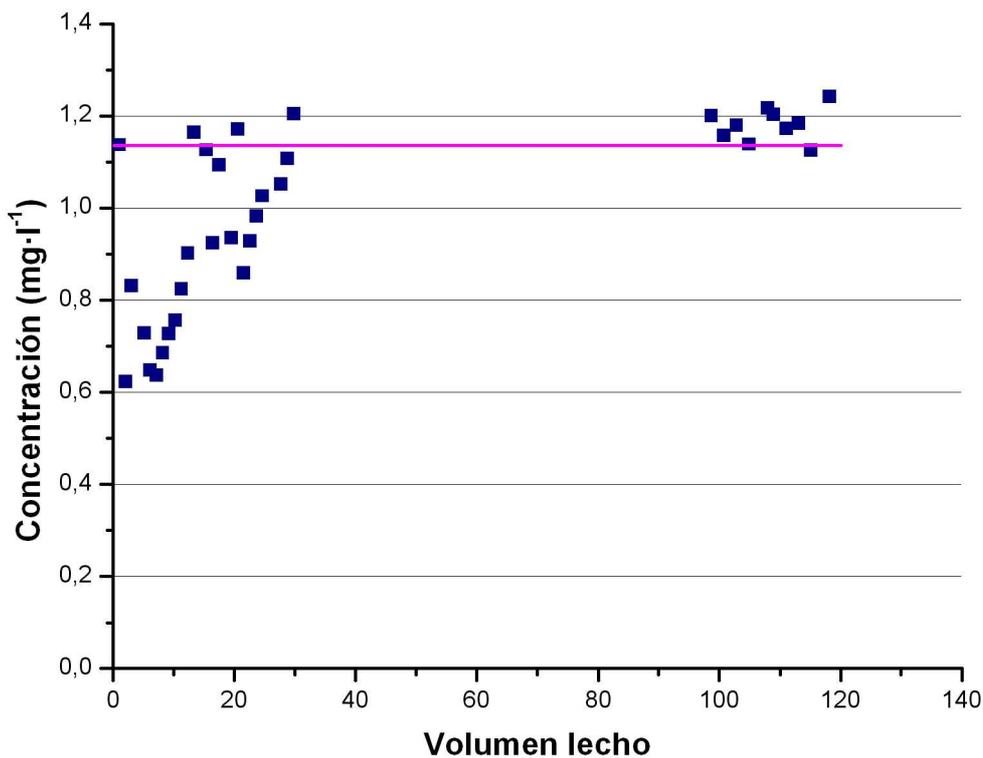


**Figura 14:** relación concentración Zn en columna de lecho fijo con pH muestras obtenidas en el experimento 20. Siendo ■ la concentración de Zn y ■ los valores de pH

En este caso se observa que el descenso del pH coincide con la retención de zinc por parte de los filtros, pasando a ser constante a medida que los filtros dejan de ser capaces de retener más zinc.

Posteriormente se realizó un ensayo similar al anterior, pero con una concentración inicial de Zn inferior (1,3 ppm), para comprobar si los filtros de acetato de celulosa funcionaban mejor como adsorbentes con una concentración menor de Zn.

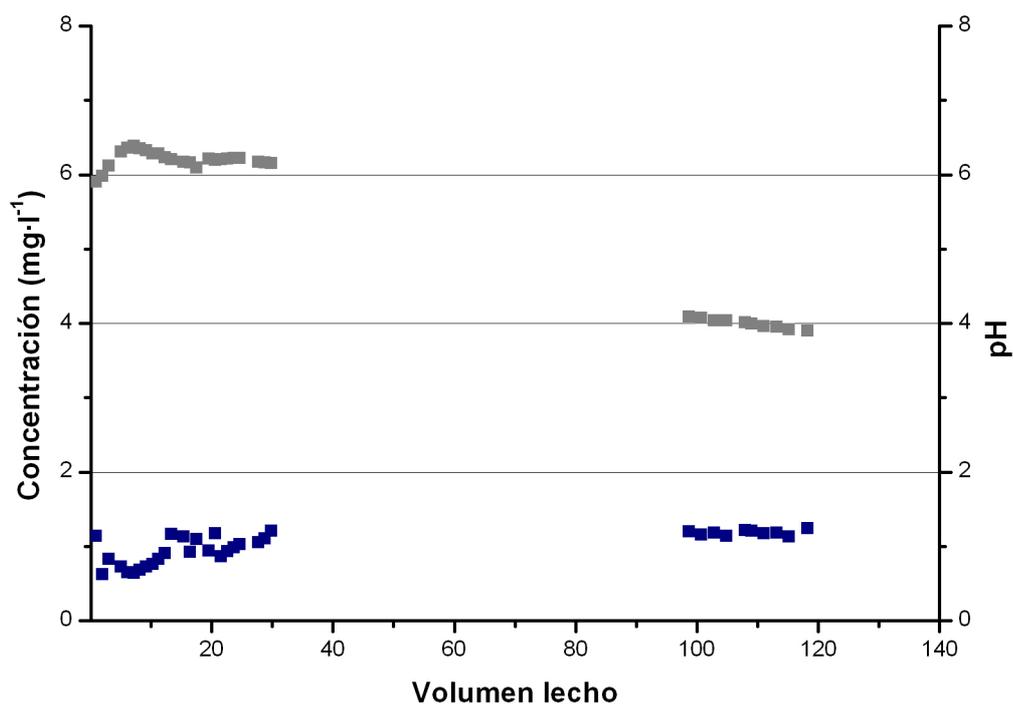
Los resultados obtenidos en el experimento 21 se muestran en la siguiente figura:



**Figura 15:** concentración de Zn en columna de lecho fijo para el experimento 21. Siendo ■ serie de medidas obtenidas con las muestras y – la concentración inicial de Zn en el agua problema

En esta ocasión, al ser la concentración de Zn menor que en el primer ensayo, los filtros de acetato de celulosa tardaron más tiempo en colmatarse, 25 volúmenes de lecho. Obteniendo así mayor número de medidas por debajo de la concentración de entrada en la columna de lecho fijo. Por lo tanto podemos afirmar que a menores concentraciones de Zn son capaces de aumentar su capacidad de retención.

Al comparar la concentración de zinc con los valores de pH obtenidos durante el experimento obtenemos la siguiente grafica:



**Figura 16:** relación concentración Zn en columna de lecho fijo con pH muestras obtenidas en el experimento 21. Siendo ■ la concentración de Zn y ■ los valores de pH

Al comparar ambas curvas, tal y como sucedía en el experimento anterior, podemos observar una relación directa entre la concentración de zinc y los valores de pH, llegando así a la conclusión de que los filtros de acetato de celulosa son capaces de retener zinc, pero en el proceso liberan iones  $H^+$  al medio, por lo que el valor de pH va aumentando mientras lleva a cabo dicha retención.

Una vez se colmatan los filtros, la retención de zinc se interrumpe al igual que la liberación de  $H^+$ , por lo que ambos valores se estabilizan brevemente, hasta que los filtros comienzan a perder parte del zinc retenido momento en el que aumenta la concentración de zinc en la salida del sistema y los valores de pH.

Por tanto podemos afirmar que la retención depende de la cantidad de gramos de filtros de acetato de celulosa presentes en la columna de lecho fijo, la concentración inicial de zinc de la muestra y el valor de pH de la muestra inicial.

## 5 – CONCLUSIONES

Una vez llevados a cabo todos los experimentos planteados y observados los resultados obtenidos alcanzamos varias conclusiones:

- Los filtros de acetato de celulosa presentan abundante materia orgánica por lo que es necesario limpiarlos mediante sucesivos lavados antes de ser reutilizados en cualquier proceso de limpieza de aguas. Un procedimiento recomendable sería trocear los filtros, para aumentar su superficie de contacto y realizar sucesivos lavados en agua caliente (alrededor de 80 °C) durante aproximadamente una hora de duración, siguiendo el procedimiento descrito, a partir del 3º lavado la mayor parte de materia orgánica de los filtros ya ha sido eliminada de los mismos.

- Los filtros de acetato de celulosa no son adecuados como eliminador de nitratos en agua ya que, aunque son capaces de retenerlos durante un tiempo muy corto transcurrido dicho tiempo comienzan a liberar algún compuesto que aumenta la concentración de nitratos por lo que el método utilizado no sería apropiado para dicha función.

- Los filtros de acetato de celulosa son capaces de amortiguar los valores de pH de un agua, acercándolos a la neutralidad para un rango de pH entre 3 y 12 y una concentración de filtros de acetato de celulosa de entre 10 y 50 gr·l<sup>-1</sup>.

- Los filtros son capaces de retener una cantidad de zinc proporcional a la concentración de filtros en el medio, ya que las concentraciones tras el tiempo de contacto en todos los casos eran menores que las iniciales, tal y como se observa en el ensayo en discontinuo. Una mayor superficie de contacto proporcionada por el corte de los filtros implicaba una mayor capacidad de retención de zinc.

- En la introducción de una serie de pulsos salinos de distinta duración a través de un lecho con filtros de acetato de celulosa como material de relleno, se ha observado que el efluente presenta un mayor contenido salino, lo que implica que dicho material no solo no regula la conductividad eléctrica sino que libera alguna sustancia que hace que aumente.

- En el ensayo en continuo para el estudio de la utilización de los filtros de acetato de celulosa como adsorbentes de zinc observamos que, tal y como sucedía en el ensayo en discontinuo, los filtros de acetato de celulosa son capaces de retener ciertas cantidades de zinc siempre y cuando la concentración inicial de éste sea apropiada para la cantidad de acetato de celulosa utilizado como adsorbente.

Una cantidad aproximada de 5.2 g de acetato de celulosa pueden retener zinc de una disolución colmatándose tras 12 volúmenes de lecho si la concentración es de 6.5 ppm de Zn o tras 24 volúmenes de lecho si ésta es de 1.3 ppm de Zn.

- Se observa una relación directa entre la retención de zinc y los valores de pH, al absorber el metal, se libera  $H^+$  al medio lo cual hace que disminuya el pH. En los procesos en discontinuo, debido a la capacidad reguladora del los filtros de acetato de celulosa, una vez termina la retención del metal la disolución tiende a la neutralidad.

## 6 – BIBLIOGRAFIA

- Ariza E., Jimenez J.A. y Sardá R. (2007). Seasonal evolution of beach waste and litter during de bathing on the Catalan coast. *ScienceDirect. Waste Management* (2008), 28, pp 2604-2613.
- Diez R. (2002). La educación ambiental: la escasa percepción social del problema de los residuos urbanos en la municipio de Alicante. *Papeles de Geografía*, 35, pp 75-100.
- Fukushi K., Hiiro K. e Ishio N. (1999). Potential contribution of discarded cigarettes to anthropogenic autrophication in an urban area. *Analytical communications*, 36, pp 345-347.
- Gupta V y Suhas. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal. A review. *ScienceDirect. Journal of environmental management*, 90, pp 2313-2342.
- Iskander F., Bauer T.L. y Klein D. (1986). Determination of 28 elements in american cigarette tobacco by neutron-activation analysis. *Analyst*, 111, pp 107-109.
- Khodorov E. y Kvasha V.B. (1999). Adsorption purification of liquid flows applied to no-waste chemical fibre technologies. Review. Regeneration and industrial ecology. *Fibre Chemistry*, 31, pp 153-167.
- Malik A. H., Khan Z. M., Mahmood Q., Nasreen S. Y Bhatti Z. A. (2009). Prespectives of low cost arsenic remediation of drinking water in Pakistan and other countries. *ScienceDirect. Journal of hazardous materials*, 168, pp 1-12.
- Martinez G y Senior W. (2001). Especiación de metales pesados (Cd, Zn, Cu y Cr) en el material en suspensión en la pluma del río Manzanares, Venezuela. *Interciencia*, 26, pp 53-61.
- Mohan D. y Pittman C.Jr. (2007). Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents. A critical review. *ScienceDirect. Journal of hazardous materials*, 142, pp 1-53.
- Novotny T., Lum K., Smith E., Wang V. y Barnes R. (2009). Cigarettes butts ande the case for an environmental policy on

hazardous cigarette waste. *International journal of environmental research and public health*, 6, pp 1691-1705.

- Sharma Y. C., Srivastava V., Singh K., Kaul S. N. y Weng C. H. (2009). Nano-adsorbents for the removal of metallic pollutants from water and wastewater. *Environmental Technology*, 30, pp 583-609.
- Cooney D. (1999). Adsorption design for wastewater treatment. EE.UU: Lewis Publishers
- Dean J R. (1998). Extraction methods for environmental analysis. Newcastle: John Wiley & Sons.
- Meatcalf y Eddy. (1995). Ingeniería de aguas residuales. Madrid: McGraw Hill.
- Manuals de ecogestió. Diagnosi ambiental d'oportunitats de minimització (DAOM). Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya.
- Manuals de ecogestió. Estudi de minimització de residus especials. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya.
- Environmental Campaigns. (2004). Litter composition survey of England. (Encamps)

#### *Referencias web:*

- Generalitat de Catalunya. Departament d'Ensenyament. [en línea] <[http://www.xtec.cat/~gjimene2/llicencia/students/bscw.gmd.de\\_bscw\\_bscw.cgi\\_d32817116-3\\_\\_\\_\\_\\_AAS\\_final.html](http://www.xtec.cat/~gjimene2/llicencia/students/bscw.gmd.de_bscw_bscw.cgi_d32817116-3_____AAS_final.html)> [consulta 3 Octubre de 2010]
- Junta de Andalucía. Consejería de salud. [en línea]. <<http://www.juntadeandalucia.es>> [consulta 5 Octubre de 2010].
- Lenntech [en línea] Base de datos sustancias. <<http://www.lenntech.com>> [consulta 5 de Octubre de 2010].
- Agencia para sustancias toxicas y el registro de enfermedades [en línea] Base de datos sustancias y efectos. <<http://www.Atsdr.cdc.gov>> [Consulta 10 de Octubre de 2010].

- Ministerio de trabajo en inmigración [en línea]. Base de datos sustancias industria. <[http:// www.mtas.es](http://www.mtas.es)> [Consulta 5 de Octubre de 2010].
- Ministerio de sanidad política social e igualdad [en línea]. Guía sobre drogas 2007. Tabaco. <<http://www.pnsd.msc.es/Categoria2/publica/publicaciones/Guia2008/tabaco.htm>> [Consulta 7 de Octubre de 2010].
- Miliarium; Ingeniería civil y medio ambiente [en línea]. <<http://www.miliarium.com/Legislacion/residuos/ccaa/valencia.htm>> [Consulta 12 de Octubre de 2010].
- Organización mundial de la salud [en línea] <[http:// www.who.int/es/](http://www.who.int/es/)> [Consulta 3 de Octubre de 2010].