



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial

Regeneración del adsorbente empleado en la eliminación de nitratos presentes en salmueras procedentes de plantas de ósmosis inversa

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Autor: Miguel Hidalgo Martínez
Director: José Manuel Moreno Angosto
Codirector: Ricardo Martínez Vives

Cartagena, 28 de mayo de 2021



Universidad
Politécnica
de Cartagena

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecerle a mi tutor de prácticas de empresa Ricardo Martínez Vives, "Ricky", por brindarme la oportunidad de poder trabajar junto a él, por enseñarme y orientarme en el ámbito profesional, por la ayuda recibida por su parte en este proyecto. Espero que el trabajo que he realizado durante estos meses te sirva de ayuda de cara al futuro de tu empresa Ricky.

A mi tutor del TFG, José Manuel Moreno Angosto, que sin su ayuda y conocimiento no habría sido posible la realización de manera correcta de este trabajo.

A mi familia que me ha apoyado en todo momento, acompañándome en cada una de las diferentes etapas a lo largo de estos años de aprendizaje. A mis padres y a mi hermana por enseñarme a que las metas se consiguen con trabajo duro y disciplina, porque cada sacrificio tiene su recompensa.

A mi grupo de amigos que he tenido durante estos años en la universidad, "Los Bartoros", en especial a Pablo, por haber sido mi fiel compañero en cada una de nuestras batallas en cada examen, y a nivel personal, me ha hecho ver muchos aspectos con otro punto de vista, me ha aportado grandes valores durante estos años, y espero que siga aportándome continuamente nuevas formas de verlo todo, y por esas risas interminables y por las que están por llegar, Gracias amigo.

A mi familia de Supremas en el gimnasio, Eva, Miriam, Paula y Aleydis, por haberme ofrecido su mano desde el primer momento y por haber confiado en mi desde el principio, por haberme soportado las caras largas en los días que mas agobiado iba, y por haber hecho de este año, un gran año, por haberlas conocido y por todas las enseñanzas y experiencias que me han brindado.

Y finalmente, quisiera hacer una mención especial a Tati, que me soporta cada día desde que tengo uso de razón, por haber estado conmigo cada uno de los días, en las buenas y en las malas, porque ha sido siempre mi vía de escape. La persona que ha sabido sacarme a flote incluso en los peores momentos, sin ella y sin sus momentos de desconexión e infinita risa, no estaría donde estoy ahora, ni en la manera en la que estoy, te estaré siempre agradecido amiga. Gracias compi.

A todos mis amigos y mi familia por su cariño y su apoyo durante todos estos años.

ÍNDICE

1. SUMARIO.....	1
1.1 Escasez de agua. Disponibilidad y purificación.....	1
1.2 Contaminación hídrica.	3
1.3 Sector agrícola. Problema medioambiental. Métodos de eliminación de nitratos. 5	
2. INTRODUCCIÓN.....	7
2.1 Problema de la contaminación. Consecuencias. Formas de reducir la contaminación.	7
2.2 Método de adsorción.	10
3. JUSTIFICACION Y OBJETIVOS	12
4. ANTECEDENTES.....	15
4.1 Empresas en la industria dedicados a investigación sobre eliminación de nitratos.	15
4.2 Formas de eliminación de nitratos.	17
4.3. Adsorción.	21
4.3.1. Fisorción.	22
4.3.2. Quimisorción.....	23
4.3.3. Isotermas de adsorción.	23
4.3.4. Materiales adsorbentes.	28
4.3.5. Adsorción y Absorción.	30
4.4. Comparación filtro con descalcificador.....	31
4.5. Ácido nítrico. Aplicaciones.	34
4.6. Aplicaciones del ácido clorhídrico.	38
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
5.1. Reactivos sólidos y líquidos.....	45
5.2. Desarrollo del ensayo experimental para la retención de nitratos.	46
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	55
6.1. Gráficas y curvas y análisis de los resultados.....	55
6.2. Problemas y soluciones en el desarrollo del trabajo.	62
7. CONCLUSIONES.....	66

8. BIBLIOGRAFÍA.....	67
9. ANEXO.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.1. Niveles de porcentaje de acceso al agua.....	2
Figura 1.2.2. Posidonia Oceánica en mar Mediterráneo.	5
Figura 1.3.1. Proceso esquemático de eliminación de nitratos.....	6
Figura 2.1.1. Esquema sobre la toxicidad de los nitratos.	8
Figura 2.1.2. Deforestación en filipinas.	9
Figura 2.1.3. Vertido de aceite en el río Magdalena (colombia).....	10
Figura 2.2.1. Esquema adsorción de forma física y química.	10
Figura 3.1. Entrada de aguas contaminadas en el Mar Menor procedente del acuífero. Febrero 2020.	13
Figura 3.2. Puntos de medición de aguas subterráneas afectadas o en riesgo de contaminación por nitratos de origen agrícola sobre el acuífero del Campo de Cartagena.	13
Figura 4.2.1. Esquema de un paquete de cinco celdas de electrodiálisis. Fuente: CommonsHelper2.....	18
Figura 4.2.2. Diagrama de proceso de ósmosis y ósmosis inversa.	19
Figura 4.2.3. Resina de intercambio iónico.	20
Figura 4.3.3.1. Gráficas de las 5 isotermas de adsorción.....	26
Figura 4.3.3.2. Gráfica isoterma de adsorción tipo 1.....	26
Figura 4.3.3.3. Gráfica isoterma de adsorción tipo 2.....	27
Figura 4.3.3.4. Gráfica isoterma de adsorción tipo 3.....	27
Figura 4.3.3.5. Gráfica isoterma de adsorción tipo 4.....	28
Figura 4.3.3.6. Gráfica isoterma de adsorción tipo 5.....	28
Figura 4.3.5.1. Esquema de adsorción y absorción.	31
Figura 4.3.5.2. Descripción gráfica sorción adsorción y absorción.....	31
Figura 4.4.1. Ilustración gráfica descalcificador de sal con depósitos para resina y sal.	34
Figura 4.5.1. Gotero con depósito de calcio y magnesio.....	36

Figura 4.5.2. Figura metálica antes y después del proceso de pasivado con HNO₃ ...	37
Figura 4.6.1. Pareja de rodamientos, antes y después de operación de decapado con HCl.	40
Figura 4.6.2. Operario de una planta alimenticia vertiendo ácido clorhídrico en un depósito.	42
Figura 4.6.3. Agua regia.	43
Figura 5.2. Equipo HORIBA LAQUAtwin NO3-11	44
Figura 5.1.1. Medio adsorbente conectado a bomba de vacío.	45
Figura 5.1.2. Reactivo de NaNO ₃ de la marca Panreac.	45
Figura 5.2.1. Partes y elementos que se utilizaron para la realización de los ensayos.	46
Figura 5.2.2. Bote de reactivo de NaNO ₃ de la marca Panreac.....	48
Figura 5.2.3. Botella de plástico en la que se almacenaba la “disolución madre”.....	48
Figura 5.2.4. Introducción de una de las muestras en el medio adsorbente.	49
Figura 5.2.5. Resultado de una de las muestras pasadas por el medio adsorbente....	50
Figura 5.2.6. Extracción del medio adsorbente e introducción a la Horiba de una pequeña cantidad de la muestra.	50
Figura 5.2.7. Proceso de lavado del medio adsorbente con HCl.	51
Figura 5.2.8. Esquema general del proyecto realizado.	52
Figura 5.2.9. Guantes de laboratorio de seguridad y gafas de protección.	53
Figura 6.1.1. Cantidad NO ₃ ⁻ adsorbidos distinto HCl (Medio Adsorbente 2).	55
Figura 6.1.2. Cantidad NO ₃ ⁻ adsorbidos para un mismo HCl (Semana 1).	56
Figura 6.1.3. Cantidad NO ₃ ⁻ adsorbidos para un mismo HCl (Semana 2).	57
Figura 6.1.4. Cantidad NO ₃ ⁻ adsorbidos para un mismo HCl (Semana 3).	58
Figura 6.1.5. Cantidad NO ₃ ⁻ adsorbidos para un mismo HCl (Semana 4).	59
Figura 6.1.6. Ensayos realizados en la semana 4 junto con los de agua destilada.	60
Figura 6.1.7. Cantidad NO ₃ ⁻ removidos con lavados con agua.....	61
Figura 6.2.1. Zona por la que desbordaba el medio adsorbente	64
Figura 6.2.2. Saliente dañado debido al HCl en una bomba de vacío.....	65
Figura 9.1. Esquema de la planta 1.	84
Figura 9.2. Esquema de la planta 2.	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 9.1. Tabla Excel con datos recogidos durante la segunda parte del proyecto. ..	74
Tabla 9.2. Tabla Excel con datos recogidos durante la segunda parte del proyecto (2).	75
Tabla 9.3. Tabla Excel con datos recogidos durante la segunda parte del proyecto (3).	76
Tabla 9.4. Tabla Excel con datos recogidos durante la segunda parte del proyecto (4).	77
Tabla 9.5. Tabla Excel con datos recogidos durante la segunda parte del proyecto (5).	77
Tabla 9.6. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto.	78
Tabla 9.7. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (2).	79
Tabla 9.8. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (3).	79
Tabla 9.9. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (4).	80
Tabla 9.10. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (5).	81
Tabla 9.11. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (6).	81
Tabla 9.12. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (7).	82
Tabla 9.13. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (8).	82
Tabla 9.14. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (9).	83

1. SUMARIO

1.1 Escasez de agua. Disponibilidad y purificación.

Uno de los principales problemas que sufre nuestro planeta es la escasez de agua, el cual está incrementado por la demanda y el crecimiento de la población a nivel mundial.

Actualmente, millones de personas sufren este problema, bien por sequías o bien por el difícil acceso a agua limpia, además, en determinados lugares a pesar de las abundantes precipitaciones y debido a una mala gestión se puede llegar a sufrir incluso la falta de agua dulce. Las principales consecuencias que podemos encontrarnos son las siguientes [1]:

- Propagación de enfermedades debido a la falta de medidas de higiene.
- Escasez de agua potable para las personas y la ganadería.
- La tierra se convierte en terreno infértil ya que se seca impidiendo la agricultura.
- Al existir un déficit hídrico en el terreno, imposibilita la producción de alimentos mediante la agricultura, generando hambrunas.

El agua dulce únicamente representa el 2,5% del agua de la Tierra y la mayoría no está disponible ya que se encuentra en glaciares y casquetes polares. Además, el 96% de agua dulce en estado líquido se encuentra en zonas subterráneas, y el resto en la superficie de la atmósfera.

Las aguas superficiales como lagos, charcas, embalses, ríos, arroyos y humedales constituyen un 0,3% del volumen total de agua dulce de la Tierra. Representan el 80% de las aguas superficiales y subterráneas renovables [2]. Estos lugares donde podemos encontrar agua desempeñan muchas funciones en el medio ambiente y constituyen la principal fuente de agua potable, energía y ocio para el ser humano, así como medios de irrigación y transporte.

Es evidente que la actividad humana afecta a estos recursos hídricos, por ejemplo, unas de las amenazas más notorias sobre estos recursos es la degradación de ecosistemas, que puede ser provocados por cambios en el paisaje como el desmonte, la transformación de los paisajes naturales en tierras agrícolas, construcción de carreteras y minería a cielo abierto, crecimiento urbano entre otros. Cada cambio en el paisaje tiene un impacto específico, de forma general en los ecosistemas naturales, y de forma directa o indirecta en los recursos hídricos.

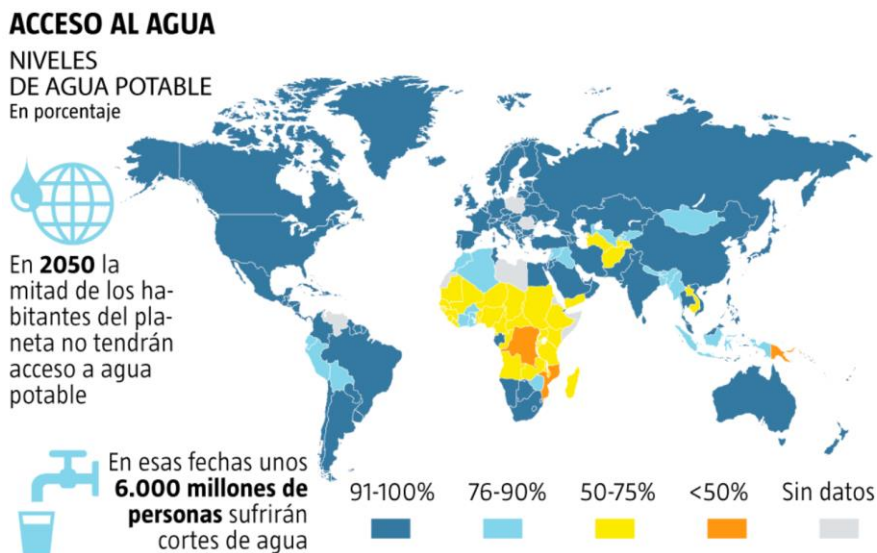


Figura 1.1.1. Niveles de porcentaje de acceso al agua.

El agua extraída de estos lugares, debe ser tratada para el consumo humano, para ello existen diferentes métodos. Nombraremos algunos de ellos [3]:

- Filtración:

Con este método logramos eliminar sedimentos, bacterias, parásitos grandes y algunos metales pesados. Es un proceso rápido y el sabor del agua no se altera significativamente, sin embargo, requiere un reemplazo del filtro.

Este método es probablemente el más común de purificación, debido a su versatilidad y facilidad de uso.

- Osmosis inversa:

Eliminamos más de un 99% de virus, bacterias, parásitos, impurezas, sales y metales pesados. Elimina microorganismos de manera efectiva, mejora el sabor del agua. Sin embargo, es un proceso que requiere energía, por lo que es costoso y necesita de un alto mantenimiento.

La ósmosis inversa es un proceso mediante el cual se fuerza el agua a través de una membrana semipermeable para eliminar contaminantes.

- Destilación:

Consiste en eliminar todo lo mencionado en los procesos anteriores, mediante un método que libera todos los patógenos y metales pesados, sin embargo, lento y nos elimina también los minerales.

Este método consiste en recoger la condensación del vapor, esta es la forma más efectiva de garantizar que el agua esté libre de todos los contaminantes.

- Otros métodos:

Existen además otros métodos de purificación del agua como por ejemplo la inversión de electrodiálisis, nanofiltración, floculación y bioremediación entre otros.

Estas formas de purificar el agua no son tan comunes pero están ganando terreno a los sectores privados y gubernamentales.

1.2 Contaminación hídrica.

Los principales contaminantes de las aguas suelen incluir bacterias, virus, parásitos, fertilizantes, pesticidas, fármacos, multitud de sales como fosfatos y nitratos, plásticos, desechos fecales y hasta sustancias radioactivas. En ocasiones la contaminación hídrica resulta prácticamente invisible ya que estos elementos no siempre llegan a teñir el agua. Debido a esto, se recurre al análisis químico de pequeñas muestras y organismos acuáticos para así conocer con precisión el estado de la calidad del agua.

Esta contaminación afecta principalmente a las diferentes especies que habitan en estos ecosistemas como podemos observar en la figura 1.2.1, sin embargo, una especie a destacar es la posidonia oceánica.



Figura 1.2.1. Anoxia producida por hipereutrofización en el Mar Menor.

Esta contaminación es causada por diversos factores naturales como la filtración del mercurio que se encuentra presente en la corteza terrestre, llegando a contaminar océanos, ríos, lagos canales y embalses, las erupciones volcánicas o las deposiciones y restos animales. No obstante, lo más común es que el deterioro del agua proceda de las actividades humanas.

Algunas de las consecuencias de estas actividades humanas, que terminan en una contaminación hídrica de manera directa o indirecta son [4]:

- Calentamiento global.
- Deforestación.
- Actividades industriales, agrícolas y ganaderas.
- Basuras y vertidos de aguas fecales.
- Tráfico marítimo.
- Derrames de combustible.

La Posidonia es una planta acuática que crece en condiciones especiales. La luz es uno de los factores más importantes. Según un artículo de IAQUA: “podemos encontrar esta planta entre 10 y 40 metros de profundidad. La Posidonia oceánica está en un serio peligro debido al aumento de la desalinización y las temperaturas demasiado frías (menos de 10°C) o calientes (más de 28°C)” [5] [6].

“La Posidonia es una de las plantas más productivas del mundo, con importantes funciones ecológicas y económicas. Por ejemplo, sirve de refugio a una cuarta parte de las especies de flora y fauna que viven en el Mediterráneo. Esta planta es un "centro de biodiversidad" como suministro de pescado, claridad y purificación del agua, protección contra la erosión costera, mitigación de las olas, sumidero de carbono o generación de oxígeno”.



Figura 1.2.2. Posidonia Oceánica en mar Mediterráneo.

Las praderas de posidonia de la figura 1.2.2. son auténticos bosques marinos que no toleran los incrementos de salinidad, y los estudios especializados al respecto no aconsejan que se vierta sobre estas zonas la salmuera cargada de nitratos (agua de rechazo del proceso de desalación, con un alto contenido en sal). Debido a esto es conveniente reducir la máxima concentración de nitratos presentes en las salmueras. En caso de llevarse a cabo, se recomienda que no se superen los límites habituales de salinidad marina [7].

Más concretamente, si la salinidad marina se incrementa en 2-3 g/L disminuye mucho su crecimiento, a partir de 5 g/L crecen hasta la mitad de su tamaño y cuando superamos los 8-10 g/L las plantas dejan de crecer por completo, hasta los 42 g/L en los que la mortalidad aumentaba drásticamente.

1.3 Sector agrícola. Problema medioambiental. Métodos de eliminación de nitratos.

El nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas terrestres, el nitrato es absorbido por la mayoría de plantas para el correcto funcionamiento de estas entre la que destaca el crecimiento de la propia planta o el engorde de sus frutos. Hoy en día, a nivel europeo, el máximo nivel que se permite de nitratos que se encuentran presentes en las aguas potables es de 50 mg/L, estableciendo un valor guía en los 25 mg/L [8].

La creciente demanda de alimentos provocada por el aumento de la población mundial, ha llevado al sector agrícola a usar durante años cantidades incontrolables de

nitratos, lo que genera un aumento del uso de fertilizantes químicos nitrogenados de bajo coste y provoca serios problemas medioambientales como la contaminación del agua.

Otro problema es la contaminación de las aguas superficiales, debido al riesgo de que el agua producida por la escorrentía se vierta directamente a los ríos, ramblas o canales de riego. Esto puede generar serios problemas de eutrofización, con un excesivo desarrollo de las especies vegetales que crecen junto a los cauces y además, provoca la muerte por asfixia de los animales del medio acuático por el crecimiento descontrolado de algas [9].

Concretamente en España, es conocido este fenómeno por ocasionar un gran daño a la fauna del Mar Menor situado en Murcia. El uso excesivo de nitratos se relaciona también con el cambio climático, provocando un aumento de la degradación de la capa de ozono y el efecto invernadero.

Existen diferentes métodos para la eliminación de nitratos, podemos clasificar estas técnicas en dos grandes grupos [10].

- Técnicas de separación. Consisten en la separación de nitratos de la corriente de agua que se va a depurar, concentrándolos en un desecho, la salmuera, para su posterior tratamiento o almacenamiento en un depósito. Algunas de estas técnicas son la electrodiálisis, la ósmosis inversa y las resinas aniónicas
- Técnicas de transformación. Su propósito es transformar los nitratos en otros compuestos químicos por medio de vías catalíticas o biológicas.

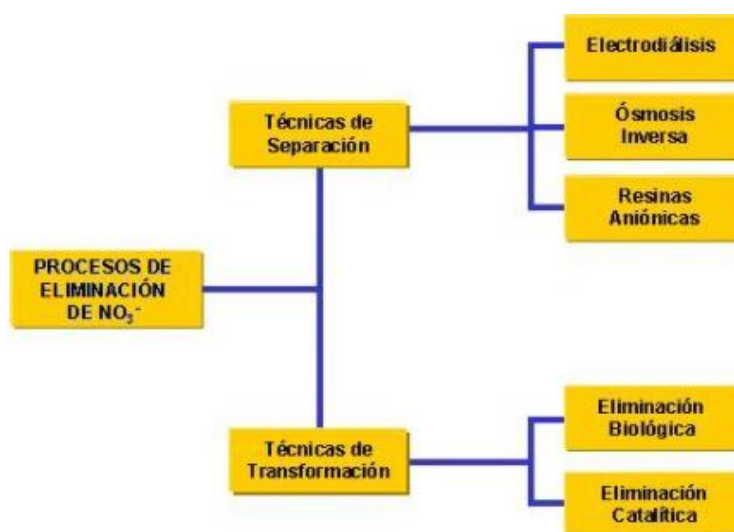


Figura 1.3.1. Proceso esquemático de eliminación de nitratos.

Las primeras son las más utilizadas en la actualidad para el tratamiento de aguas naturales, mientras que las técnicas de transformación suelen ser más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales e industriales.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Problema de la contaminación. Consecuencias. Formas de reducir la contaminación.

Como ya hemos mencionado previamente, una de las mayores causas de la escasez del agua son en primer lugar la contaminación, bien de aguas dulces como la de tierra o aire.

Por otro lado, la sequía, ya que la presencia del cambio climático provoca la aparición de largos periodos de escasez de precipitaciones, que causan la ausencia de agua en el consumo humano, industria o cultivos.

También tenemos que mencionar en último lugar un uso descontrolado del agua, tanto a gran escala en las fábricas, como en pequeña escala, en nuestras casas, ya que en determinadas ocasiones se produce un malgasto de agua, olvidándonos de que es un recurso limitado.

Debido a la escasez de agua en el mundo es un problema se producen una serie de graves consecuencias como las siguientes:

- Hambre. Sectores como la agricultura, ganadería o incluso la industria son afectados por la escasez de agua, y por lo tanto se produce la falta de alimentos y hambre.
- Enfermedades. La falta de sistemas adecuados de potabilización y una vez más, la escasez de agua, nos obliga a recurrir a fuente de agua contaminada que pueden provocar enfermedades. Según los datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), enfermedades como la diarrea, la colera o la poliomielitis son producidas por la contaminación del agua.

Alrededor de 842.000 personas [11] mueren cada año por diarreas como resultado de ingerir agua no potable o por falta de higiene o instalaciones sanitarias adecuadas y además al menos 1.800 millones de personas en el mundo utilizan una fuente de agua potable contaminada con materia fecal.

Desde el punto de vista de las enfermedades causadas por el consumo de aguas con nitratos, nos encontramos con la metahemoglobinemia, una enfermedad caracterizada por la presencia de un nivel muy alto de metahemoglobina, una forma de hemoglobina que contiene la forma férrica del hierro Fe^{3+} en lugar de Fe^{2+} . Debido a esto, la hemoglobina no transporta oxígeno [12].

Esto se produce a causa de los nitritos, provenientes de varias fuentes, una de ellas los nitratos. Esta transformación y reducción de oxígeno en sangre provoca diversas enfermedades como convulsiones, diuresis, colapso y cianosis, dando color negruzco (color de la metahemoglobina) a la sangre [13].

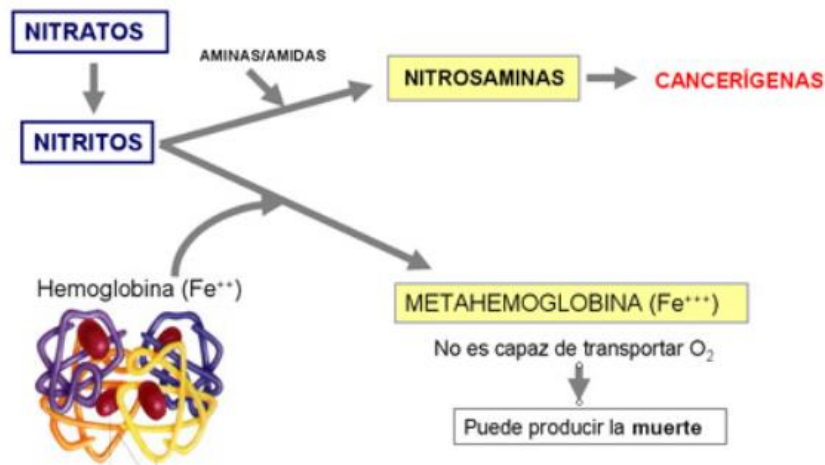


Figura 2.1.1. Esquema sobre la toxicidad de los nitratos.

- Desaparición de especies vegetales. Puesto que las plantas necesitan una gran cantidad de agua para su correcto y completo desarrollo, si les falta dicha cantidad de agua, las plantas serán cada vez más pequeñas, terminando por no adaptarse de manera correcta a una menor cantidad de agua y provocándose así a su completa desaparición [14].
- Conflictos. Numerosos conflictos son provocados debido a la escasez de recursos, esto produce un desplazamiento de las personas hacia otros lugares en los que haya más abundancia de agua para vivir.
- Mortalidad infantil. Según la ONU, las enfermedades diarreicas vinculadas a la falta de higiene son las causantes de la muerte a unos mil niños al día en

todo el mundo. El 10% de las muertes de niños menores de cinco años está relacionada con el agua.

Algunas de las formas que nos encontramos para poder paliar la contaminación del agua son las siguientes [15].

- Uso de nutrientes y plaguicidas naturales. Dos de los productos más contaminantes para el agua como son los fertilizantes y los pesticidas químicos, son utilizados por la agricultura intensiva. Por esto, el uso de plaguicidas o nutrientes de origen natural harían posible una agricultura más ecológica y sostenible.
- Tratamiento adecuado a las aguas residuales. Una de las razones que provocan la contaminación hídrica es el vertido de aguas residuales sin recibir un tratamiento adecuado previo. Para ello se podría reducir el uso de productos químicos y establecer una correcta infraestructura para la depuración del agua.
- Reducir la deforestación. Los bosques son unos de los principales sumideros de agua, además, los árboles sirven como depuradores de muchos contaminantes que se vierten al medio ambiente y ayudan a que no llegue al agua. La aplicación de esta medida evitaría que desapareciera cada día tal cantidad de masa forestal y en consecuencia, reduciría la contaminación del agua.



Figura 2.1.2. Deforestación en filipinas.

- Implementación del transporte sostenible. Debido al excesivo uso de los medios de transporte, se produce contaminación atmosférica o acústica entre otras, esto causa a su vez lluvia acida, la cual contamina los acuíferos e incluso altera la calidad del agua.

- Reducción de uso de aceites y baterías. Uno de los contaminantes más agresivos del agua es el aceite ya que provoca graves daños a la biodiversidad acuática. Por otro lado debido al gran número de minerales que contienen las pilas y baterías en su interior, es un gran problema ya que al entrar en contacto con el agua se disuelven y pueden ser ingeridos por peces.



Figura 2.1.3. Vertido de aceite en el río Magdalena (colombia).

2.2 Método de adsorción.

Existen dos formas diferentes de adsorción, quimiadsorción o fisisorción, en este apartado nos centraremos en la eliminación de nitratos presentes en el agua mediante quimiadsorción.

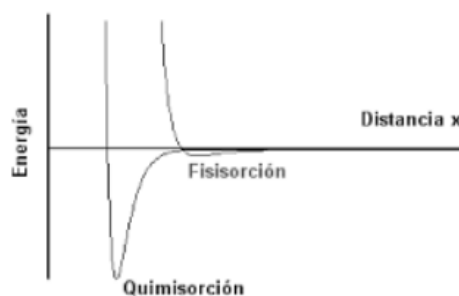


Figura 2.2.1. Esquema adsorción de forma física y química.

A diferencia de la fisisorción, en la quimiadsorción se producen enlaces químicos entre las moléculas de adsorbato y las localizaciones concretas en la superficie del

adsorbente, también conocidas como sitios activos. En este tipo de adsorción la especie adsorbida (quimisorbida) da lugar a una especie química diferente [16].

Este proceso se utiliza para la remoción de nitratos procedentes de diversos procesos industriales y/o fuentes de agua naturales como por ejemplo aguas subterráneas, agua de mar, de pozo, etc.

En este caso, el material utilizado para captar nitratos es un adsorbente selectivo, formado por especiales metálicas y no metálicas en estado sólido que tienen centros activos en los cuales se fijan químicamente estos iones NO_3^-

Antes de su utilización este adsorbente tiene que ser activado a través de una serie de procesos térmicos a alta temperatura y combinación con la adición de reactivos concretos. Esta remoción de nitratos se lleva a cabo a través de un proceso de quimiadsorción entre los nitratos del agua que vamos a tratar y el material adsorbente.

En este proceso tiene una reacción química que lleva a cabo una transferencia de materia entre el agua que vamos a tratar y la superficie del material adsorbente, más concretamente sobre los llamados centros activos. Debido a la compartición de electrones, estas interacciones son muy específicas.

Este tratamiento se da hasta la saturación de la superficie del material adsorbente, es decir, cuando estén ocupados todos los centros activos que estén disponibles. En este momento deberá ser regenerado, el regenerante usado es una disolución de ácido clorhídrico al 35% que va a permitir retirar los nitratos que se encuentran fijados sobre la superficie del adsorbente, de esta manera conseguimos que los centros activos queden vuelvan a quedar libres y así poder seguir tratando el agua de nuevo. El regenerante solo puede utilizarse un número concreto de veces hasta que se agota pierde su efectividad, en este momento se sustituirá por una nueva disolución.

Para mejorar el contacto entre el fluido que vamos a tratar y el quimiadsorbente, se ubicara el adsorbente en el interior de una columna para trabajar en contracorriente. Para trabajar en continuo, este sistema se encuentra formado por tres columnas que entraran en funcionamiento de manera escalonada, de esta forma mientras que dos de ellas están tratando agua, la otra puede regenerarse y viceversa.

3. JUSTIFICACION Y OBJETIVOS

De forma general, hemos visto como la contaminación hídrica presenta un problema de vital importancia en todo el mundo. El hecho de que el agua sea tan escasa, provoca uno de los principales problemas en zonas concretas del planeta, de hecho, este problema afecta aproximadamente a una quinta parte de la población de la Tierra.

Además de la escasez de agua, hemos de añadir la contaminación de aguas subterráneas, provocando así que la poca cantidad de agua de la que se dispone destinada para el consumo humano o riego, es difícil de utilizar y en caso de hacerlo, que deriven en problemas de salud [17].

Esto se puede ver traducido en una serie de restricciones, falta de alimentos, mortalidad infantil y en determinados lugares del planeta, numerosos conflictos.

Por tanto, es una prioridad para nosotros la eliminación de todos estos contaminantes, poniendo a disposición de estas poblaciones que se han visto más afectadas aguas perjudicadas por la influencia de elementos que dificultan su uso. Actividades como la ganadería o la agricultura intensiva, son unas de las que más contaminantes producen para las aguas de consumo humano, todas ellas originadas por la mano del ser humano.

Concretamente, se ve afectado de manera significativa el Mar Menor situado en Murcia. El Mar Menor ha dejado de ser la enorme laguna de agua salada que se encontraba hace años, se ha reducido su salinidad hasta aproximarse a los niveles de salinidad del Mar Mediterráneo. Esta salinidad le proporcionaba una protección especial frente a diferentes especies invasoras que se ha visto vulnerada por su descenso.

Esto es debido a que actualmente está entrando prácticamente el doble de agua dulce de la que llegaba en 2016, año en el que el Mar Menor tuvo una buena recuperación [18]. Estas aguas están llenas, no solo de fósforos de procedencia urbana, sino también de nitratos, los cuales proceden de esta actividad de agricultura intensiva desarrollada en los últimos años.



Figura 3.1. Entrada de aguas contaminadas en el Mar Menor procedente del acuífero. Febrero 2020.

En el campo de Cartagena, solamente la agricultura intensiva cuenta con una superficie y con un área de fertirrigación que se aproxima a las cuarenta mil hectáreas [19], de esta manera se convierte en una de las áreas de mayor trabajo y e importancia no solo a nivel nacional, sino a nivel europeo y de la cuenca mediterránea. El abuso de estos abonos nitrogenados para el abastecimiento de nutrientes a las plantaciones en toda esta área ha desencadenado una importante contaminación del acuífero cuaternario, incluso estando por encima de los 100 mg/L de NO_3^- en diferentes pozos de la región de Cartagena. En la figura 3.2. se puede observar las zonas de aguas subterráneas que se encuentran afectadas por los nitratos procedentes de la agricultura sobre el acuífero de Cartagena.

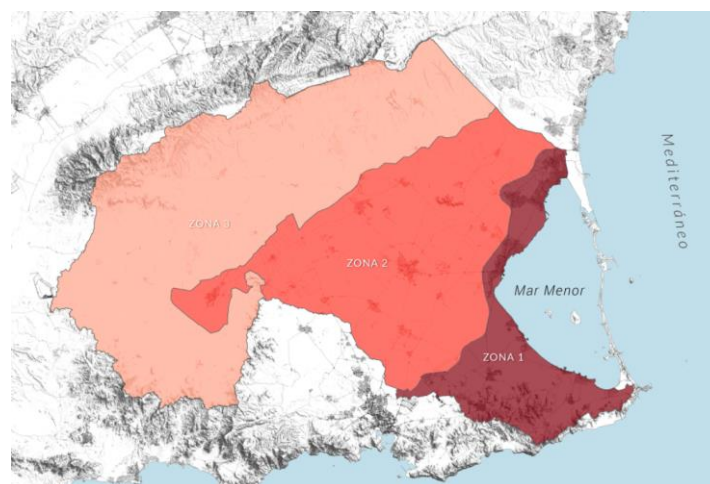


Figura 3.2. Puntos de medición de aguas subterráneas afectadas o en riesgo de contaminación por nitratos de origen agrícola sobre el acuífero del Campo de Cartagena.

El uso de forma abusiva en esta área de estos abonos ha generado una degradación de la masa de la laguna salada de mayor capacidad y tamaño a nivel europeo, contando con 170 km², llevando a una muerte prácticamente inminente de todas las especies que habitan en su interior.

Este problema se ha provocado debido a la recogida de aguas mediante filtraciones del acuífero, llegándose a verter aproximadamente más de 10.000 toneladas al año de nitratos [20], generando una importante eutrofización. Sin embargo, la introducción de estos abonos y la contaminación del medio acuático ocurre en todo el mundo, no solo en la Región murciana.

Por otro lado, como comentábamos anteriormente, otro factor causante de este problema es la ganadería. Su problema radica a partir de los purines de los animales, que presentan altas concentraciones de nitrógeno. Concretamente en España, existen más de 28 millones de cabezas de porcino, y aproximadamente en torno a 90.000 explotaciones según dato de 2017 [21]. Esto ha originado un número elevado de purines que, junto con los vertidos desmesurados de estos, ha terminado en la contaminación de estos acuíferos. Algunas de las comunidades más afectas en España como pueden ser por ejemplo Aragón, Cataluña y Murcia, presentan una muy elevada concentración granjas, resultando así imposible el cumplimiento de que cada hectárea agrícola no debería recibir el purín de más de 20 cabezas de ganado, cuando en las comarcas anteriores, esta concentración puede llegar a ser de 2.000 cabezas.

Debido a todas estas razones, es de máxima prioridad innovar y utilizar un nuevo método para la eliminación de nitratos, que sea rentable a nivel económico, de gran duración y que presente una alta efectividad. Una forma de calcular cada uno de estos parámetros es medir el coste del producto, la instalación y el medio adsorbente. También el hecho de poder utilizar en repetidas ocasiones el producto que se ha usado sin que el medio adsorbente se vea afectado de manera considerable. Es de destacar la importancia de medir la efectividad que presente el medio adsorbente para retener nitratos.

Uno de los factores que debemos tener en cuenta es conocer si se pueden usar estos nitratos de nuevo, una vez que han sido retenidos en el interior del medio adsorbente, puesto que supondría determinadas ventajas en este sector de agricultura intensiva como, por ejemplo, obtener el producto sin necesidad de comprarlo. Esto supondría un ahorro y seguridad a la hora de la fertirrigación puesto que el nitrógeno sobrante que termina en estas aguas subterráneas, será completamente eliminado de estas cuando se bombee el agua, consiguiendo así una mejora en cuanto al

abastecimiento de aguas para el ser humano y por supuesto una notable mejora para el medio ambiente.

Los objetivos marcados para este Trabajo de Fin de Grado son los siguientes:

- Describir la manera en la que se comporta el medio adsorbente y recopilar información sobre la capacidad de retención de nitratos y la evolución temporal de esta, para ver su curva de actuación.
- Estudiar la regeneración del medio adsorbente y conocer la vida útil de este.
- Examinar si con el uso reiterado del medio regenerante se produce una menor capacidad de retención del medio adsorbente.
- Investigar la posible reutilización del material regenerante una vez agotado para así evitar la generación de residuos.
- Analizar la viabilidad económica de los procesos, coste de la eliminación de nitratos.

4. ANTECEDENTES

4.1 Empresas en la industria dedicados a investigación sobre eliminación de nitratos.

Debido a los enormes problemas del agua contaminada por estos aniones, la eliminación del nitrato se ha convertido en uno de los temas más importantes en el campo científico actual. No solo por la salud, sino también por los daños ambientales relacionados. Por esta razón, varias organizaciones, empresas y gobiernos trabajan juntos para estudiar cómo eliminar este contaminante. A continuación, se enumeran algunos para comprender quiénes son y cómo organizarlos.

- Comunidad de regantes Arco Sur.

La Comunidad de Regantes Arco Sur (CR) es una comunidad de regantes ubicada en Cabo de Palos, Cartagena. El propósito del CR es distribuir agua para regar la tierra de los miembros de su comunidad, pero este enfoque va un paso más allá.

Esta comunidad de regantes fue de las primeras en el campo de la desnitrificación y, según señalaron, el 100% de su agua proviene de arroyos de aguas regeneradas o desaladoras de Escombreras. Esto significa que capturan la mayor parte del agua de la planta de tratamiento de aguas residuales del Mar Menor y

absorben los lixiviados de la agricultura rica en nitratos. Debido a la carga de nitrógeno, Arco Sur está equipado con un biorreactor a escala industrial en sus instalaciones, que puede alcanzar un nivel de nitrificación del 90% en solo 20 minutos. Es un sistema de desnitrificación anaeróbico que puede tratar la salmuera producida por la desalación de acuíferos y el lixiviado mezclado con diferentes sustancias orgánicas en condiciones anaeróbicas. En estas condiciones sin oxígeno, el nitrato existente se convierte en nitrógeno elemental (gas), que se elimina cuando se diluye en la atmósfera. [22].

- Grupo operativo de Economía Circular del Agua.

El equipo de operación de economía de reciclaje de agua está compuesto por diferentes agricultores, la Asociación de Productores Agropecuarios de Alimentos (ASPROAGRO) e IBERMED Ingeniería. Cuenta con 16 líneas de trabajo diferentes para innovar y probar diferentes diseños de evaluación de residuos, salmuera y tecnologías de desnitrificación a través de biológicos aeróbicos y anaeróbicos. La planta de procesamiento y el prototipo experimental están ubicados en CEMIDI en Torre Pacheco. El área de prueba es la eliminación y recuperación de salmueras y lixiviados agrícolas, y su proyecto de investigación (fuente Agrinnova.es) asciende a más de 200.000,00 euros. [23].

Encontramos de la misma manera otras organizaciones y empresas que trabajan en este tema. En cuanto a la electronitrificación, HYDROKEMOS S.L. es el equipo más avanzado del país, que puede reducir el nitrato a nitrógeno a través de un electrodo selectivo. [24].

- Cátedra de Agricultura Sostenible de la Universidad Politécnica de Cartagena.

La cátedra de Agricultura Sostenible de la Universidad politécnica de Cartagena es la asociación de la Federación de Cooperativas Agrarias de Murcia (FECOAM) y la Coordinadora de Organizaciones Agrícolas y Ganaderas (COAG). El objetivo es establecer una Investigación continua para la mejora de la agricultura, la Lo más importante es lograr una agricultura más sostenible promoviendo la investigación y la innovación.

Se han realizado numerosos estudios con el objetivo de eliminar los nitratos a través de astillas de madera, es decir, utilizando materiales de desecho de árboles leñosos, principalmente limoneros, para inmovilizar microorganismos desnitrificantes y cubrir una mayor superficie de retención, por lo que los nitratos se mueven. Está

dirigido por el Dr. Juan José Martínez Sánchez [25]., investigador y catedrático de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agrónoma de la Universidad. Entre las figuras destacadas del proyecto se encuentran el Dr. José Álvarez Rogel [26]., el Dr. José Antonio Franco [27]. o el investigador Dña. Carolina Díaz [28].

4.2 Formas de eliminación de nitratos.

Como hemos comentado en puntos anteriores, sabemos que unas altas concentraciones de ion nitrato presentes en el agua destinada al consumo, pueden suponer una gran cantidad de problemas de cara a la salud humana. No obstante, hay formas para eliminar el ion nitrato, pero cabe mencionar que es un sector que aun tiene por delante mucho desarrollo.

Según la [Directiva 91/676/CEE](#), transpuesta a la legislación española a través del [Real Decreto 261/1996](#): “Se establece por la legislación europea que la máxima concentración de nitratos permitidos en agua destinada para el consumo humano sean de 50 mg/L [29], no obstante, tendemos a aproximarnos en un límite menor, situándolo en 10 mg/L en el caso de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente Norteamérica (EPA)”.

Entre las diferentes formas que nos encontramos para la eliminación de nitratos nos encontramos las siguientes [30].

- 2.1.1 Electroreducción. “El propósito de este tratamiento electroquímico es el uso de células electrolíticas con un par de electrodos. Gracias a estos electrodos se consigue el paso de la corriente por un circuito eléctrico, consiguiendo así que la superficie del electrodo proporcione un cambio de electrones de las especies electrolíticas que se encuentren en solución. El electrodo en el que suceden las reacciones de oxidación es el ánodo, mientras que en el cátodo ocurren las reacciones de reducción”.
Algunas de las ventajas que nos proporcionan los métodos electroquímicos es por ejemplo la ausencia de requisitos necesarios para utilizar los productos químicos previa o posteriormente al proceso o tratamiento, como el acondicionamiento de las aguas residuales. No existe producción de lodos, la planta ocupa un área de no mucho tamaño, y presentan unos costes bajos de inversión.
Es posible obtener amonio como el resultado final deseado en la reducción si la concentración de nitratos es alta. Esto nos interesa puesto que

podemos recuperarlo y utilizarlo de cara a producir algún fertilizante, por ejemplo.

- 2.1.2 Electrodiálisis. “Los procesos de separación de membranas (MSP) como por ejemplo la electrodiálisis (ED) es otra forma de tratamiento de agua que contiene iones de nitrato. Este tratamiento implica una separación de iones a través de membranas, en el que tiene lugar un transporte de iones de una solución a otra. El resultado de este proceso es una solución concentrada y otra diluida (que se encuentra tratada)”.

Si no se reutiliza como fertilizante, la solución concentrada requiere de un tratamiento adicional.

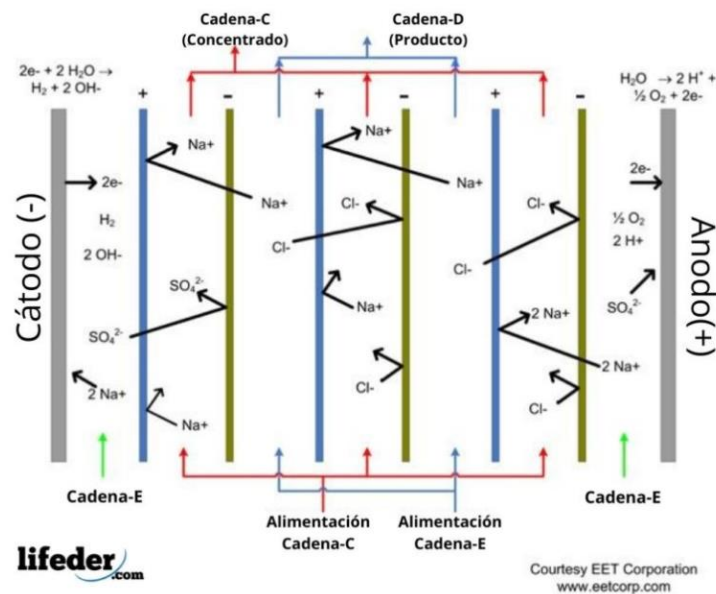


Figura 4.2.1. Esquema de un paquete de cinco celdas de electrodiálisis. Fuente: CommonsHelper2.

- 2.1.3 Ósmosis inversa. Este método ya mencionado en el *sumario* “es un proceso de separación en el que, el agua que alimenta al sistema (que presenta contaminación de nitratos) la hacemos pasar por una membrana semipermeable en la que la fuerza de impulsión consiste en un diferencial de presiones inducida entre los 2 lados de esta membrana.

En este tratamiento la solución concentrada puede contener sustancias que no atraviesen la pared de dicha membrana.

Un problema a destacar es el que provocan las salmueras. El contenido salino es lo que obtenemos a través de procesos de desalinización que presentan una alta salinidad, y en demasiadas ocasiones también presentan productos químicos disueltos”.

Debido al aumento de la demanda de agua, se producen cantidades de salmueras que van en aumento en las plantas de desalinización que, como se desechan, provocan graves y severos impactos en el medio ambiente. Como consecuencia de este problema, es necesario una gestión eficaz y eficiente de este concentrado de desalinización, de forma que podemos eliminar y reutilizar de una forma más eficiente.

Una de las formas más comunes de tratar estas salmueras procedentes del tratamiento por ósmosis inversa es mediante la precipitación química, utilizando varios agentes precipitantes.

En cuanto a los puntos negativos cabe destacar que este tratamiento presenta una gran sensibilidad a diferentes contaminantes procedentes de nitratos, es necesario una cierta cantidad determinada de presión y presenta afinidad con la bioincrustación.

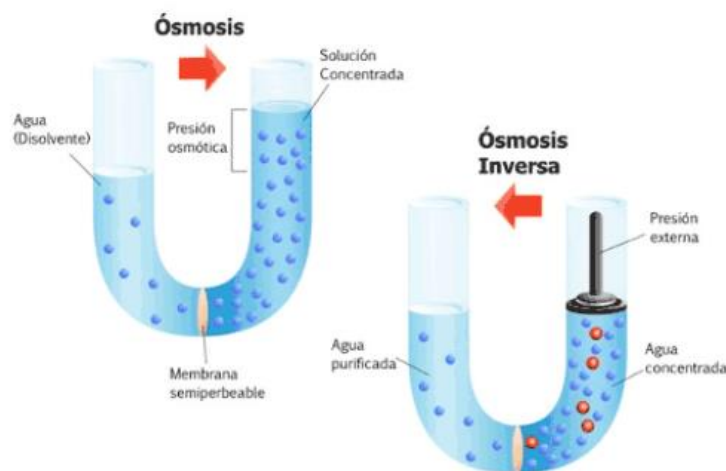


Figura 4.2.2. Diagrama de proceso de ósmosis y ósmosis inversa.

Es mucho más eficiente que la resina de intercambio iónico, aunque algo menos económico debido a la gran inversión que hay que realizar.

- 2.1.4 Intercambio iónico. Este tratamiento a través de resinas de intercambio iónico se ha ido utilizando durante los últimos años con el objetivo de la eliminación de nitratos.

“El intercambio iónico es un proceso reversible en el que los iones permanecen en un medio sólido permanente e insoluble, la llamada resina de intercambio, intercambiados con otros iones que se encuentran en una disolución acuosa”.

Sin embargo, presenta un gran punto en contra y es el alto coste de este proceso y la ineficiencia que conlleva, puesto que se debe elegir generalmente entre resinas de intercambio iónico de nitrato estándar o selectivo.

La diferencia entre ambas reside en la afinidad relativa que presentan a los iones, siendo la del nitrato selectivo de una gran precisión en cuanto a la eliminación de nitratos, mientras que la estándar podría tener afinidad por otros iones como los arseniatos o sulfatos.



Figura 4.2.3. Resina de intercambio iónico.

Una vez que se han sintetizado de forma amplia diferentes resinas, observamos que las más comunes para el agua potable son la tributilamina y la trietilamina. La alta salinidad que generan es uno de los principales problemas de estas resinas, puesto que esta tecnología se basa en la eliminación de iones NO_3^- y su intercambio por sales de cloruro, teniéndose que regenerar una vez que la resina ha agotado todos los cloruros con una disolución de cloruro sódico NaCl , siendo esta una sal de alta pureza, pasando un a disolución de esta por la masa de la resina.

2.1.5 Catálisis heterogénea. La reducción catalítica es investigada para eliminar el ion nitrato y reducirlo a nitrógeno gaseoso a través de la utilización de hidrogeno y otros agentes reductores durante las últimas décadas.

Este método es uno de los que más futuro tiene a la hora de eliminar nitratos, puesto que como el contaminante se convierte en nitrógeno gaseoso, desaparecen los inconvenientes de los métodos convencionales.

2.1.6 Adsorción. "En este tratamiento, el nitrato se adhiere a la superficie mediante fisisorción o quimisorción. Aquellos materiales que presentan

excelentes propiedades de adsorción tienen dos propiedades principales, su funcionalización externa y el área superficial innata.

Otros factores que son capaces de determinar las capacidades adsorbentes de este material son por ejemplo la actividad de adsorción, la ubicación de los átomos en su superficie, la falta de resistencia a la difusión interna y la elevada energía de unión superficial”.

Se requiere una selección óptima del adsorbente de modo que presente robustez y presente una alta funcionalidad en condiciones ambientales variables.

Este método será descrito con mayor detalle en los siguientes puntos.

4.3. Adsorción.

Uno de los métodos que existen para la eliminación de nitratos, es la adsorción, aunque no está muy desarrollado actualmente en la industria. Explicaremos primeramente en que consiste este método en profundidad, su principio, tipos de adsorciones, materiales adsorbentes etc.

La palabra adsorción propuesta por Bois-Reymond se refleja en la literatura Kayser, quien se hizo cargo de ella en 1881. También apareció en este momento Los términos "isoterma" e "curva de isoterma" que definen los resultados de las mediciones de adsorción a una temperatura constante. En 1909, McBain propuso el término absorción, utilizado para describir lo que se observa durante el estudio de la adsorción de hidrógeno cuando pasa a través del carbono. Al mismo investigador se le ocurrió el término adsorción. Incluyendo adsorción y absorción, ya que en muchos casos no se pueden distinguir con precisión.

La adsorción es un proceso muy utilizado en todo tipo de tratamiento de agua, pero ¿qué es exactamente? El término se utiliza para describir la adhesión de una fina capa de moléculas a una superficie líquida o sólida en contacto con ella. La adsorción se usa ampliamente en el tratamiento de agua potable para eliminar la materia orgánica, el tratamiento terciario de aguas residuales y la reparación de aguas subterráneas. También se utiliza para el tratamiento de aguas domésticas, así como para el tratamiento de aguas de acuarios y piscinas. [31].

En el término adsorción va implicado en la superficie de un sólido (generalmente un material poroso), la concentración de uno o más componentes de un gas o líquido. A este sólido lo denominaremos adsorbente, en cambio, a las moléculas adsorbidas en la

superficie de este, con una mayor concentración que en la fase líquida, las llamaremos adsorbato.

La selectividad de un adsorbente entre el soluto y el fluido utilizado o bien entre varios solutos, es la responsable para que exista la posibilidad de separación de ciertos componentes que se encuentran presentes en el fluido.

La adsorción, de manera general, se basa en una serie de etapas. Cuando hacemos pasar el fluido alrededor de la partícula en un lecho fijo, se difunde primeramente el soluto desde el volumen del fluido hacia la superficie exterior de la partícula. Posteriormente el soluto es difundido desde el interior del poro hasta la superficie de este y para finalizar, el soluto es adsorbido sobre la superficie [32].

Una vez conocido el método de adsorción de nitratos y la posibilidad de poder trabajar con un medio filtrante que nos ha sido proporcionado por la empresa Useful Wastes, en este proyecto trataremos de estudiar la durabilidad del medio filtrante que hemos utilizado en este proceso, así como el coste de esta regeneración, obteniendo de esta manera un producto potencialmente utilizable.

De esta manera se conseguiría transformar un residuo con un gran peligro ambiental (contaminación por NO_3^- de masas de agua tales como acuíferos) en un producto de fácil utilización dejando por el camino una masa de agua sin contaminantes, consiguiendo un doble beneficio.

4.3.1. Fisisorción.

También se le conoce como adsorción física, se da cuando el adsorbato y la superficie del adsorbente interactúan únicamente mediante las fuerzas de Van der Waals. Las moléculas que son adsorbidas están unidas de manera débil a dicha superficie, los calores de adsorción no son muy altos, comparables por ejemplo con el calor de vaporización del adsorbato, un aumento de la temperatura puede disminuir de manera importante la adsorción [33].

Determinados adsorbentes como por ejemplo el gel de sílice, la zeolita, el carbón activo o incluso la alúmina presentan una estructura con un gran número de poros, con una relación del orden de cien en cuanto a superficie/volumen, esto provoca que se puedan adsorber sustancias refrigerantes. La capa que se adsorbe en este proceso de

fisorción puede tener diferentes rangos de espesor, esto es debido a que las fuerzas de Van der Waals son capaces de extenderse desde una capa de moléculas a otras.

Nos encontramos con un proceso intermitente debido a que el adsorbente, cuando se satura se regenera. En consecuencia, una máquina de adsorción necesita por lo menos 2 cámaras o lechos de adsorción ya que de esta manera puede conseguir que estas cámaras sean capaces de invertir el ciclo de manera que donde se producía la adsorción se produzca la desorción y viceversa, consiguiendo así que la operación se efectúe de manera continua.

La energía de adsorción en la adsorción física es muy pequeña en comparación con la que se necesita en un enlace químico, por lo que la reversibilidad de este proceso es obtenida calentando el sistema, o bien produciéndole el vacío, para así conseguir una disminución de la presión en el adsorbato.

4.3.2. Quimisorción.

Por otro lado, la adsorción activada o quimisorción fue propuesta por Langmuir en 1916, y se da cuando se forman enlaces químicos entre la superficie del adsorbente y las moléculas del fluido [34].

Este proceso es caracterizado por la unión química fuerte entre adsorbente y adsorbato, por esto decimos que se trata de una interacción más fuerte que la fisorción. El proceso se detiene tras la formación de una monocapa sobre la superficie. Aunque sólo una capa puede estar quimisorbida puede producirse adsorción física de nuevas capas de adsorbato sobre la primera.

Esto se traduce en que se nos presenta una mayor dificultad para revertir el proceso y además necesita más energía para eliminar aquellas moléculas adsorbidas que en la fisorción.

Uno de los productos más utilizados para llevar a cabo este proceso es el cloruro de calcio $CaCl_2$, aunque también se utilizan silicatos.

De forma general, la quimisorción implica la rotura y formación de enlaces, por tanto, la molécula quimisorbida no mantiene la misma estructura electrónica que en fase gaseosa.

4.3.3. Isotermas de adsorción.

Una de las maneras que tenemos para verificar o comprobar la afinidad que presenta el adsorbato por el adsorbente es mediante las isotermas de adsorción. Estas isotermas son ecuaciones matemáticas en las que se muestra que relación existe entre la cantidad de adsorbato adsorbido por el adsorbente y la concentración del adsorbato cuando está en disolución, una vez que se ha alcanzado a temperatura constante, el equilibrio.

Para su elaboración, hemos de colocar un determinado volumen en disolución con una cantidad concreta de adsorbato, junto con varias dosis de adsorbente. Tenemos que mantener esta mezcla con una agitación continua y a una temperatura constante para alcanzar el equilibrio. Una vez alcanzado, la concentración en fase líquida del adsorbato hay que medirla y la capacidad de adsorción en equilibrio se calcula mediante un balance de masa, utilizando la expresión:

$$q_e = \frac{V}{M} (C_o - C_e)$$

Donde

- q_e es la masa de soluto que es adsorbido por el adsorbente (medido en $\frac{\text{mg adsorbato}}{\text{g de adsorbente}}$)
- C_o es la concentración inicial del adsorbato ($\frac{\text{mg}}{\text{L}}$)
- C_e es la concentración en equilibrio del adsorbato ($\frac{\text{mg}}{\text{L}}$)
- V es el volumen en fase líquida (L)
- M es la masa del adsorbente (g)

Sabiendo esto, se han descrito varios modelos matemáticos para representar la capacidad de adsorción en equilibrio de los adsorbentes, entre los más habituales encontramos los modelos de Langmuir y de Freundlich.

- ❖ **Isoterma de Langmuir.** Este modelo matemático es utilizado para describir el equilibrio entre la superficie del adsorbente y la disolución, a modo de equilibrio químico reversible, donde la superficie del adsorbente está compuesta por sitios activos donde las moléculas pertenecientes al adsorbato pueden ser químicamente enlazadas. Este modelo propone que cada uno de los sitios activos deber ser capaz de enlazar como mínimo una molécula de adsorbato para formar una monocapa. Expresándolo de esta manera.

$$q_A = \frac{Q_M b_A C_A}{1 + b_A C_A}$$

Siendo

- q_A es la masa de soluto que es adsorbido por el adsorbente (medido en $\frac{\text{mg adsorbato}}{\text{g de adsorbente}}$)
- C_A es la concentración en equilibrio del adsorbato ($\frac{\text{mg}}{\text{L}}$)
- Q_M Cantidad máxima de adsorbato adsorbida por el adsorbente (medido en $\frac{\text{mg adsorbato}}{\text{g de adsorbente}}$)
- b_A Constante de adsorción de Langmuir ($\frac{\text{L}}{\text{mg}}$)

❖ Isoterma de Freundlich. En un principio fue propuesta como una ecuación empírica que se utilizaba para mostrar los datos de los adsorbentes heterogéneos como por ejemplo el carbón activo.

Representado matemáticamente como:

$$q_A = K_A C_A^{1/n}$$

Donde

- q_A es la masa de soluto que es adsorbido por el adsorbente (medido en $\frac{\text{mg adsorbato}}{\text{g de adsorbente}}$)
- C_A es la concentración en equilibrio del adsorbato ($\frac{\text{mg}}{\text{L}}$)
- K_A es el Parámetro de Freundlich de la capacidad de adsorción ($\frac{\text{mg}}{\text{g}}$)
 $(\frac{\text{L}}{\text{mg}})^{1/n}$
- $1/n$ Parámetro adimensional de Freundlich de la intensidad de adsorción

Habitualmente se utiliza este modelo de isoterma en la adsorción de sistemas líquido-sólido, está basado en una distribución exponencial de la energía de adsorción en los sitios activos, es decir, da lugar a una interacción entre moléculas adsorbidas adyacentes provocando así que se genere una multicapa [35].

Sin embargo, existen 5 tipos de isotermas, siendo cada una de ellas [36]:

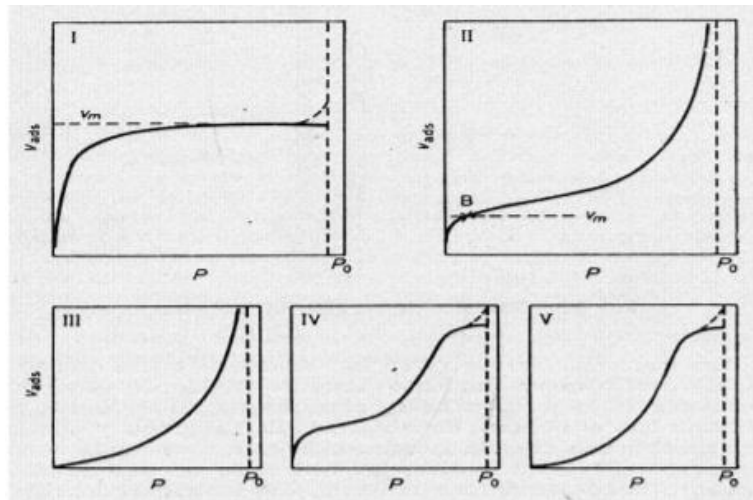


Figura 4.3.3.1. Gráficas de las 5 isothermas de adsorción.

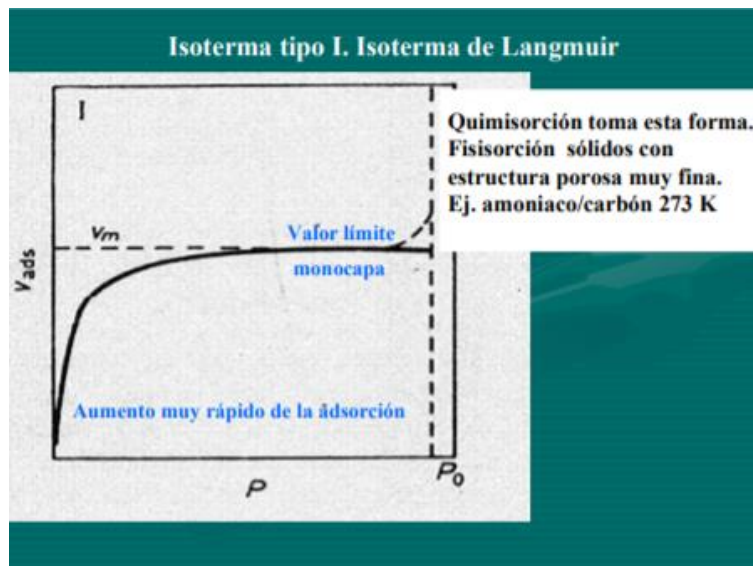


Figura 4.3.3.2. Gráfica isoterma de adsorción tipo 1.

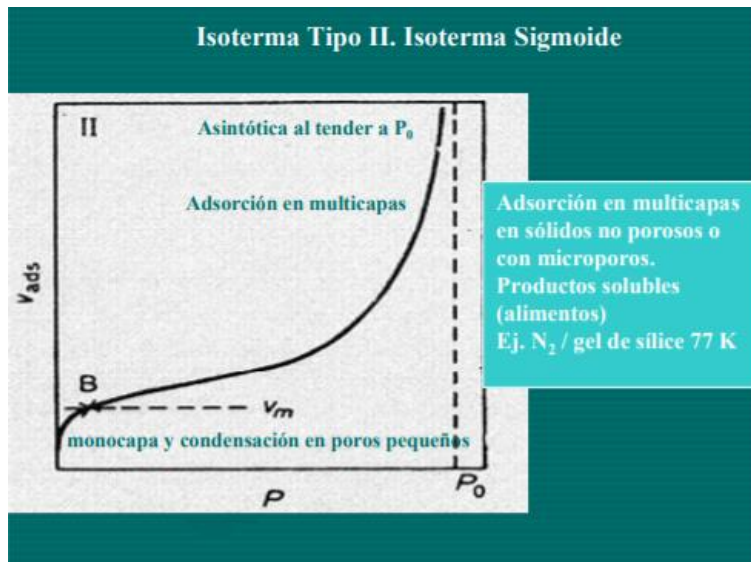


Figura 4.3.3.3. Gráfica isoterma de adsorción tipo 2.

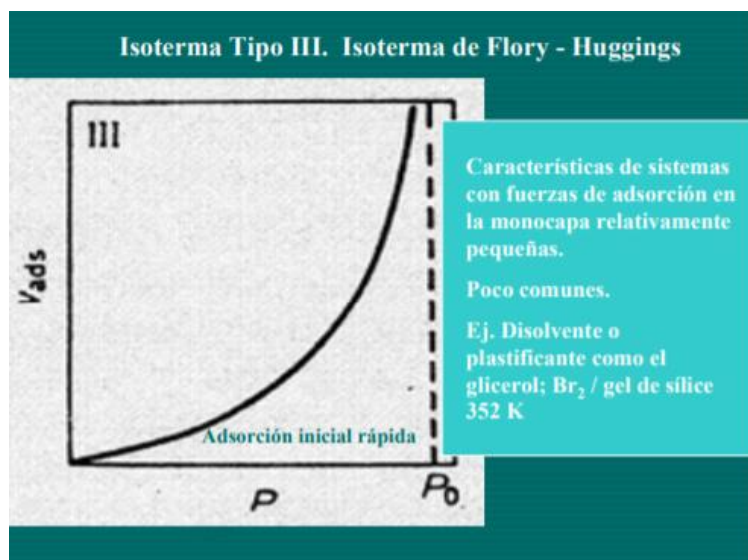


Figura 4.3.3.4. Gráfica isoterma de adsorción tipo 3.

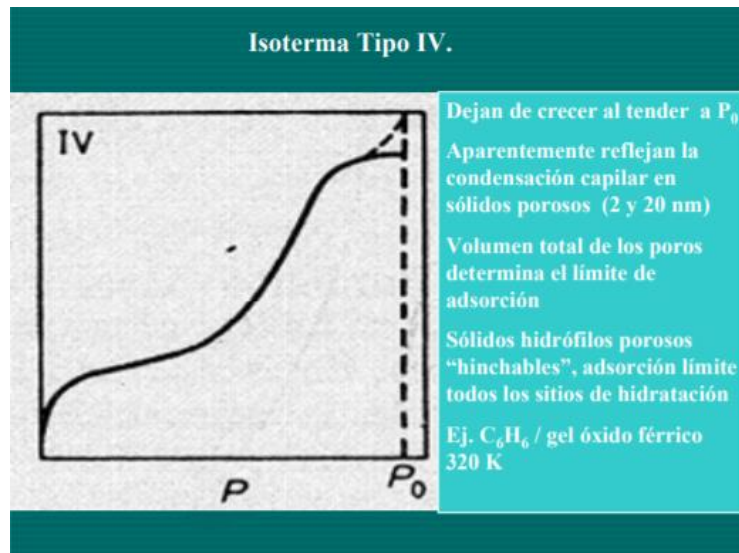


Figura 4.3.3.5. Gráfica isoterma de adsorción tipo 4.

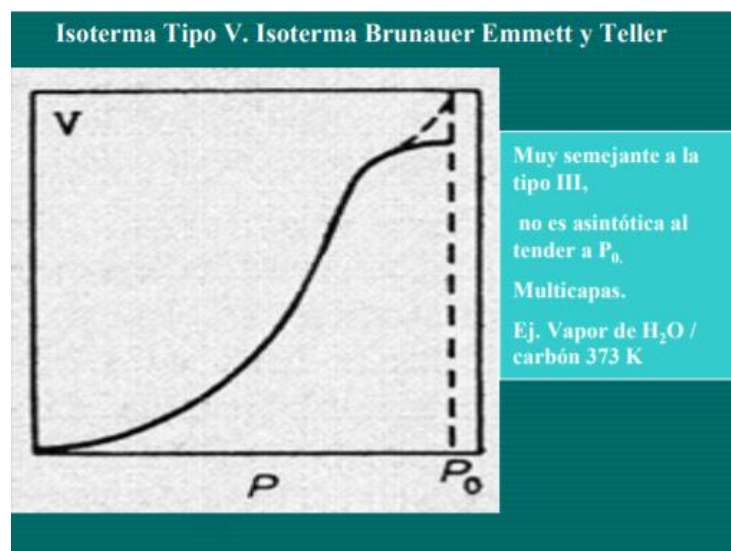


Figura 4.3.3.6. Gráfica isoterma de adsorción tipo 5.

4.3.4. Materiales adsorbentes.

Dado que, por unidad de superficie la acumulación de adsorbato es demasiado pequeña, la adsorción se suele efectuar en materiales porosos, con una elevada superficie específica y un alto volumen de poros, para tener así una gran capacidad de adsorción. Algunas de las características más importantes que debe tener un material para poder ser utilizado como adsorbente son por ejemplo la capacidad de adsorción, la selectividad que presentan ante diversos adsorbatos, la facilidad de regeneración, la

cinética de adsorción, una compatibilidad con todos los componentes de la corriente, sus propiedades mecánicas y finalmente su coste. Describiremos a continuación algunas de ellas con un poco más de profundidad [37].

- Capacidad de adsorción. Una de las características principales de este tipo de materiales, es la cantidad de adsorbato que puede retener el adsorbente por unidad de masa o volumen. Esta característica se relaciona de forma directa con la superficie específica que presente el material y con la densidad de poros, también con el tamaño medio de los poros que presenta dicho material. Podemos determinar el coste de esta operación de adsorción a través de esta característica ya que determina la cantidad de adsorbente que necesitamos, su coste y el volumen del dispositivo de adsorción, que generalmente suele ser una columna o un tanque.
- Selectividad. Podemos definir este parámetro como la relación entre capacidad de adsorción de un material con respecto a la que corresponde a otro componente en una mezcla dada. Podemos determinar la selectividad de otra manera, con el cociente entre las constantes de Henry para el equilibrio de gas o líquido-sólido, que representa la relación entre las pendientes de las isotermas para valores bajos de presión parcial o concentración.
- Regenerabilidad. Podemos definir este parámetro como la capacidad de mantener tras un número determinado de usos, las propiedades adsorbentes y en relación con la textura.
- Cinética. Presenta una relación directa con la resistencia que presenta al transporte en las zonas entre partículas. Este parámetro es de gran importancia ya que controla el tiempo que puede durar un ciclo en un proceso de adsorción en lecho fijo, es decir, la difusión interna es la encargada de determinar la velocidad del proceso de adsorción.
- Propiedades mecánicas. Hay que destacar, que sería recomendable que el material adsorbente utilizado presente una correcta resistencia mecánica en caso de que se vaya a utilizar en lecho fijo. Sin embargo, si se va a utilizar en un lecho móvil, será conveniente que tuviera una alta resistencia a la abrasión.

En nuestro proyecto, utilizaremos como material adsorbente un carbono activo dopado. El carbono se 'activa' mediante un proceso en el que se somete a temperaturas muy altas, para que así cambie su estructura interna, de esta manera reduciremos el

tamaño de sus poros y aumentaremos su superficie, obteniendo así un carbón con mayor densidad de porosidad que el carbón convencional.

Este proceso de activación, otorga una superficie de filtración muy buena, permitiendo de esta manera una elevada capacidad de absorción de impuras presentes en el agua. El carbón activo puede atrapar solventes, pesticidas, residuos industriales y diversos productos químicos que pueden estar disueltos en agua, sin embargo, no retiene bacterias, virus ni los minerales que tenga el agua [38].

4.3.5. Adsorción y Absorción.

Podemos explicar el proceso de absorción como un fenómeno físico en la que se implica una difusión de masa en el que, en un líquido, se disuelven uno o más componentes de una mezcla. El proceso de absorción es utilizado a mayor escala en la industria para la purificación de gases, aunque este sea un producto o residuo de este proceso [39].

La absorción se puede utilizar para obtener algunos de estos objetivos [40]:

- Recuperación de un gas deseado
- Eliminación de un gas no deseado
- Obtener un líquido determinado, por ejemplo, la producción de HCl por absorción de ácido clorhídrico gaseoso en agua.

Una vez definido que es y en que se basa el proceso de absorción, veamos cuales son las diferencias que presenta frente a la adsorción.

Llamamos sorción al proceso ya sea físico o químico, mediante el cual, una sustancia se agrega o une a otra diferente, ambas provenientes de fases separadas, En función de cómo se produzca la sorción, la clasificaremos en absorción o adsorción. Denominaremos desorción al proceso contrario a la sorción.

La principal diferencia entre ambos procesos de adsorción y absorción radica en que en la absorción se produce una transferencia de volumen y de masa entre las 2 fases, no obstante, la adsorción es un proceso que ocurre a nivel superficial, y permanece cada fase por separado [41].

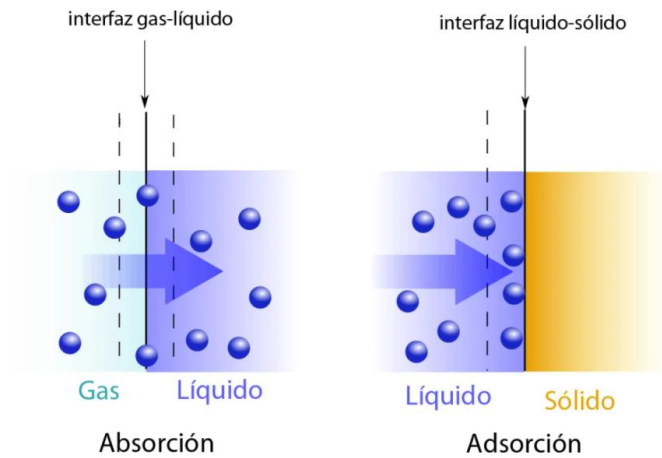


Figura 4.3.5.1. Esquema de adsorción y absorción.

Es decir, en la absorción, una sustancia gaseosa denominada adsorbato, se añade al volumen que ocupa otra sustancia líquida, que se denomina absorbente.

En cambio, en la adsorción lo que tenemos es una sustancia gaseosa o líquida (adsorbato), es adherida a la superficie de un sólido (adsorbente).

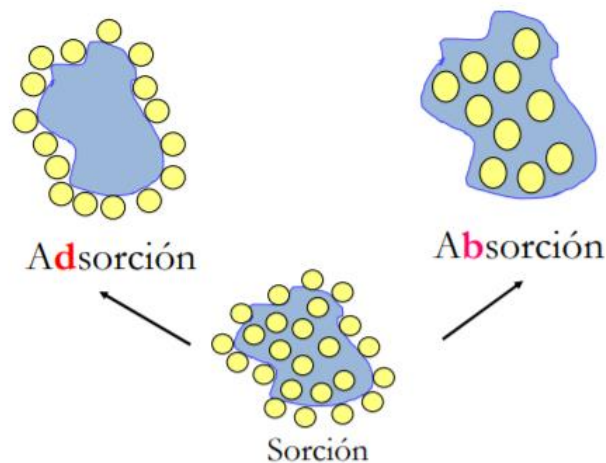


Figura 4.3.5.2. Descripción gráfica sorción adsorción y absorción.

4.4. Comparación filtro con descalcificador.

Cuando hablamos de un filtro para el tratamiento de aguas, es recurrente que se piense también en un descalcificador. Un filtro de agua es un sistema que permite filtrar y remover los diferentes contaminantes que pueda contener el agua, incluyen sistemas más pequeños para beber el agua directamente o bien filtros más grandes para tratar el agua de toda una red de viviendas, y los descalcificadores son un tipo de filtros especiales cuya función es eliminar los diferentes minerales contenidos en el agua,

consiguiendo así que el agua pase de ser dura a blanda. Es decir, un descalcificador es un tipo de filtro de agua para todo el hogar.

En cambio, filtro de agua es un término en el que se incluyen un amplio abanico de productos que van más allá de los descalcificadores.

El funcionamiento de un filtro de agua emplea una gran variedad de métodos de purificación del agua para tratar su contaminación. Una serie de materiales avanzados se utiliza para eliminar estos contaminantes a través del proceso de absorción mencionado anteriormente, intercambio iónico, microfiltración, conversión catalítica y/o oxidación. En general, la mayor parte de estos materiales atrapan o transforman los diversos contaminantes en el interior de una matriz para su posterior eliminación en los ciclos de limpieza a contracorriente o bien con un reemplazo de cartuchos de estos materiales.

Si tratamos de eliminar microbios, una forma de esterilizar el agua son las lámparas ultra violeta UV. Una filtración con pantallas, tamices o membranas se pueden utilizar de igual modo para tratar de eliminar contaminantes en un gran rango de micrajes.

Por otro lado, un descalcificador de agua dura basa su funcionamiento [42] en el uso de resinas de sal e intercambio iónico para la eliminación de calcio o magnesio, causantes del endurecimiento del agua. Las resinas empleadas son recubiertas con una solución sódica, de manera que cuando el agua dura en encuentra en contacto con las cuentas de la resina, los iones de calcio y magnesio abandonan la solución hacia los sitios activos de dicha resina, siendo remplazados por los iones sódicos.

En el caso de no querer añadir sal o productos químicos al agua, también se dispone de descalcificadores alternativos que no contienen sales. Utilizan en cambio materiales cerámicos avanzados encargados de atraer y neutralizar en escala las propiedades del agua dura con eficacia y sin la necesidad de regeneración, contracorriente o electricidad. Estos descalcificadores son más beneficiosos para el medio ambiente ya que no requieren un enjuague ni electricidad, no requieren un mantenimiento laborioso, y al no tener sales, son la alternativa más saludable para descalcificar el agua.

Los descalcificadores de sal pueden basarse en un par de sistemas, uno de ellos es el sistema volumétrico en el que la regeneración de la resina es producida en el momento en que un volumen determinado pasa por el descalcificador. Por otro lado, tenemos un sistema con temporizador en el que la resina está programada para que se regenere al cabo de un determinado tiempo, consiguiendo así una regeneración independiente del agua que se consuma.

Hemos de mencionar también algunos de los inconvenientes que presenta un descalcificador convencional, algunos de ellos son [43]:

- Continuo aporte de sal. Esto es debido a que, dado que se deben comprobar de forma continua los niveles de sal y añadir sacos de sal con regularidad, es necesario un mantenimiento constante, ya que para la regeneración de la resina se necesita sal.
- Riesgo sanitario. Existe un peligro de proliferación de bacterias a una temperatura concreta y en ambientes acuosos, por ello se requiere un mantenimiento exhaustivo para conseguir reducir los riesgos bacteriológicos.
- Mantenimiento con coste elevado. Además de la cantidad de sal que se utiliza, también hemos de tener presente la cantidad de agua desperdiciada en cada regeneración de las resinas.
- El agua no es óptima para el riego. La permeabilidad del suelo es afectada por el alto contenido en sodio, causando problemas de infiltración, este exceso también puede provocar una dispersión y desagregación del suelo.

Otro punto a tener en cuenta es la fase de regeneración. Cuando la resina se encuentra en un punto en el que no es capaz de retener más iones de calcio y por tanto decimos que está saturada, es cuando se necesita un proceso de regeneración.

Una de las partes de un descalcificador es el depósito, en el que podemos encontrar sales que se encuentran disueltas en agua. Durante este proceso, lo que hacemos es pasar a través del recipiente en el que se encuentra contenida la resina, el agua con un porcentaje de sodio bastante elevado, para que así consigamos que se produzca un intercambio de iones de calcio, los cuales han quedado adheridos a la resina, con los iones de sodio que encontramos presentes en la sal, consiguiendo así una regeneración de la resina.



Figura 4.4.1. Ilustración gráfica descalcificador de sal con depósitos para resina y sal.

No obstante, el proceso de regeneración genera un consumo de agua mucho mayor, y esto desencadena en un problema de gran importancia. Es necesario que los descalcificadores de sal tengan una regeneración de las resinas de intercambio iónico de forma periódica. Un proceso de regeneración de este tipo puede incluso llegar a rechazar 190 litros de agua en cada regeneración, debido a esto, en cada mes, la frecuencia del proceso de regeneración puede llegar a cambiar entre 4 y 7 veces. Este problema desencadena en un incremento de la factura del agua y el consumo de la misma, siempre que se utilice un descalcificador de sal.

Mencionar también que el agua, la cual presenta unos niveles en sodio elevados, que se utiliza para la regeneración de la resina, se expulsa del descalcificador de sal a través de una vía de escape o desagüe, de esta manera, pasa a ser una fuente de contaminación que considerar de gran importancia, ya que el sodio es considerado un elemento que presenta una gran contaminación y no es sencillo de tratar ni conseguir eliminar.

4.5. Ácido nítrico. Aplicaciones.

El ácido nítrico, HNO_3 , es un ácido que presenta una corrosividad muy elevada y una alta toxicidad, y puede llegar a provocar graves quemaduras. Este ácido es producido a escala industrial partir de la oxidación del amoníaco en unos tamices de platino, de forma que conseguimos obtener gases con concentración de nitrógeno que producen el ácido nítrico en diferentes concentraciones cuando absorben agua.

No es posible obtener ácido nítrico de 100% de pureza, ya que durante el proceso de producción su concentración únicamente llega al 68%.

Este ácido presenta cierta viscosidad, es aceitoso, incoloro e inodoro. Las tonalidades de su color las encontramos entre la amarilla y marrón, esto varía dependiendo de los diferentes tipos de impurezas que pueda presentar. Es importante conservar este ácido fuera del alcance de la luz, por ejemplo, en envases opacos ya que, si no se hace de esta manera, puede producirse una descomposición en óxido nitroso (NO_2). Destacar que es uno de los ácidos orgánicos más consumidos a nivel industrial, por detrás del ácido sulfúrico.

Si este ácido en altas concentraciones llegar a estar en contacto con la piel, producirá una coloración de la piel humana a un tono amarillento debido a una reacción con la Cisteína, compuesto que se encuentra presente en la queratina de la piel.

Algunos de los usos frecuentes de este ácido podemos encontrarlos en la fabricación de explosivos como TNT (trinitrotolueno) o nitroglicerina, y en diversos fertilizantes, por ejemplo, nitrato de amonio. Además, también se conoce como agua regia a la combinación de este ácido junto con el ácido clorhídrico, utilizada en extracciones de platino u oro.

Vamos a destacar a continuación los siguientes [44]:

- Ácido nítrico en el sector agrícola. En la agricultura, el ácido nítrico es junto con el ácido fosfórico, de los ácidos que mayor importancia presentan y de los más consumidos a nivel internacional. Los usos del ácido fosfórico residen en la fuente de fósforo, mientras que el nítrico se usa para aportar nitrógeno en su forma nítrica.

Una forma de evitar que se produzcan oxidaciones muy agresivas que pueden llegar a producir el óxido nitroso, es conveniente que no se mezcle con micronutrientes que tengan una base metálica, como zinc, cobre o magnesio entre otros, debido a la gran capacidad oxidante que presenta este ácido.

Además del aporte de nitrógeno a los cultivos que puede llegar a lograr, es usado también como descalcificador de las tuberías de riego.

El HNO_3 es muy importante en los sistemas de regadío debido a la capacidad que tiene para eliminar y evitar taponamientos, consiguiendo eliminar impurezas y acumulando sedimentos de calcio que son los encargados de obstruir los goteros. Por tanto, se convierte gracias a la alta efectividad que tiene, en una manera económica y rápida para evitar y dar solución a este tipo de problemas. Sin embargo, uno de los usos de mayor importancia que presenta el ácido nítrico en la agricultura es la acidificación del agua que se usara en un futuro para

regadío. Puesto que el pH de este ácido es menor que uno, $\text{pH} < 1$, al añadir este ácido al agua de riego, esta alcanzara un nivel pH casi neutro, $5 < \text{pH} < 6$, consiguiendo así que el agua sea adecuada para regar y circular por tuberías, asegurándonos de esta manera una solubilidad de los componentes presentes en los suelos.



Figura 4.5.1. Gotero con depósito de calcio y magnesio.

- Ácido nítrico en la joyería. Como se ha comentado previamente, resulta muy útil en joyería por los altos niveles de oxidación y corrosión que presenta. Su utilización reside a la hora de grabar y su actividad es desarrollada como agua regia, que es una mezcla de HNO_3 y HCL . También se emplea a la hora de preparar diseños y en la comprobación de la pureza que presentan algunos metales preciosos.

Otro de los usos que nos encontramos en joyería es, por ejemplo, en el proceso de pasivación, que consiste en que el ácido nítrico logre crear una película que proteja sobre algunos metales, que actúa para lograr prevenir un desgaste y deterioración con el paso del tiempo.

- Ácido nítrico en el pasivado de metales. El pasivado es un tratamiento que consiste en crear una capa de óxido para así hacerlos más resistentes al posible ataque de otras sustancias. El pasivado es producido con frecuencia de manera espontánea en las superficies de aceros inoxidable, sin embargo, en ocasiones puede resultar necesario que se favorezca este proceso a través de tratamiento

con ácidos oxidantes. Una diferencia que presenta el pasivado frente al decapado es que, en el pasivado mediante ácido, no hay eliminación de metal en la superficie, mientras que en el decapado si ocurre. No obstante, el espesor de la capa pasiva y la calidad de esta, crecen con gran velocidad durante el pasivado [45].

En ocasiones, los procesos de decapado y pasivado se producen de forma sucesiva, en tratamientos en los que se emplee el ácido nítrico. Aunque el ácido nítrico es útil para “pasivar” las superficies de los aceros inoxidable, no resulta efectivo de cara a “decarpar” estos aceros.

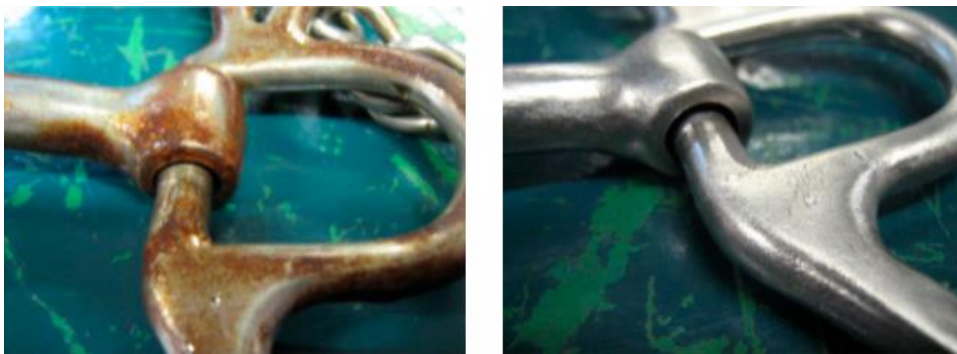


Figura 4.5.2. Figura metálica antes y después del proceso de pasivado con HNO_3 .

- Ácido nítrico en la industria farmacéutica. En este caso, el HNO_3 es usado como componente de diversos medicamentos, como pueden ser algunos tratamientos para la eliminación de verrugas, gracias a su acción caustica. Se utiliza también para realizar numerosos ensayos y pruebas, como reactivo en laboratorios químicos.

También puede ser empleado en el ámbito de veterinaria, con animales domésticos o incluso de granja, para el tratamiento de bacterias, parásitos u hongos.

- Ácido nítrico en la industria química. Es evidente que uno de los sectores donde más aplicación tiene este ácido, como cualquier otro, es en la industria química, se encuentra presentes en numerosos procesos y aplicaciones entre los que encontramos:
 - Fabricación de colorantes.

- Producción de ácido sulfúrico.
 - Elaboración de nitratos.
 - Fabricación de diversos tipos de perfumes.
 - Producción de medicamentos.
 - Fabricación de diferentes explosivos, debido a esto, la venta de este ácido se encuentra regulada ya que se considera junto a otros materiales como el nitrato amonio, sulfúrico o el peróxido de hidrógeno, como un precursor de explosivos.
- Ácido nítrico empleado en el hogar. Como se ha dicho, la venta del ácido nítrico está regulada, y por tanto acceder a este ácido con un fin doméstico presenta una cierta dificultad, no obstante, puede comprarse con una licencia de uso que es proporcionada por el Ministerio del Interior. Entre los usos que pueden darse encontramos los siguientes:
 - Como método anti cal.
 - Destinado a la limpieza de azulejos, con mayor frecuencia limpieza de manchas sobre cemento.
 - Para la limpieza de metales.
 - Desincrustante de suciedad.

4.6. Aplicaciones del ácido clorhídrico.

El ácido clorhídrico es un ácido fuerte que presenta una corrosividad elevada, podemos encontrarlo en la industria por ejemplo para procesar acero, empleado en el sector de la edificación y la construcción.

También podemos encontrarlo en la industria química para producir el cloruro de vinilo a gran escala, y éste es usado en la producción de plásticos de cloruro de polivinilo, también llamado PVC, que es uno de los productos que más se utilizan en la industria química para la producción de espuma de poliuretano y cloruro de calcio entre otros. Además, el HCl es utilizado también para la producción de diversos productos químicos, como microbicida, un producto químico que se encarga de evitar que las colonias de bacterias crezcan de manera descontrolada, o desinfectante.

Otros usos bastantes frecuentes de este ácido pueden ser para el mantenimiento de piscinas, a modo de limpiador doméstico, o incluso en la producción de alimentos [46].

- Producción de acero. En la industria metalúrgica la mayoría de veces se emplea para diluir o disolver alguna capa de óxido que recubre a un metal, o también para eliminar cualquier residuo de cal, ya que al aplicarlo se convierte en cloruro de calcio el cual es un compuesto que presenta una mayor solubilidad. Este proceso, es un paso previo para adentrarnos en procesos más delicados, como puede ser un recubrimiento de un metal o su extrusión, por ejemplo.

Un uso muy común es en la operación de decapado, que consiste en eliminar óxidos y otras impurezas del acero inoxidable, acero al carbono, o incluso acero aleado. El óxido es removido de la superficie, y se convierte en otros compuestos que son más solubles en agua. El objetivo de esta operación es la extracción química de la cascarilla de laminación del metal, ya sea formado mediante forja, por laminación o conformado. De esta manera, conseguimos preparar el acero para un posterior uso en proyectos de edificación o construcción, también para utilizarlo en el sector automovilístico, para un grabado de aluminio o una limpieza del metal. Es necesario aplicar este método cuando tenemos que hacer pasar el acero por otras transformaciones, como puede ser su conversión en cables.

Además, este ácido suele utilizarse en otras operaciones en el sector minero más allá de la desoxidación de minerales. Es usado para extraer, separar y depurar. Por otra parte, es empleado en grandes cantidades de cara a trabajos especializados en la recuperación del oro [47].



Figura 4.6.1. Pareja de rodamientos, antes y después de operación de decapado con HCl.

- Limpiadores domésticos. Se suele emplear como un ingrediente fundamental de los limpiadores domésticos por ejemplo de inodoros o azulejos de baño, y debido a las propiedades corrosivas tan altas que tiene este ácido, también se suele emplear como ingrediente en limpiadores de cerámica que presentan manchas muy difíciles de eliminar. [48] El HCl presenta una reacción muy rápida con los sedimentos calcáreos que se desprenden, resultando también muy efectivo a la hora de eliminar manchas que presentan óxido de hierro. Debido a el olor tan irritante que presenta y su fuerte actividad, es recomendable que al utilizar este ácido, se haga de la forma más diluida posible.

Las soluciones de este ácido que presentan una mayor concentración de HCl, son del orden de aproximadamente un 30%, comercializado para usarlo en aguas de piscinas, conocido también como ácido muriático o sulfumán.

- Saneamiento de agua empleada para piscinas. Otro uso bastante frecuente que presenta el HCl es como elemento químico para el tratamiento del agua en piscinas de natación y así mantener un adecuado nivel de pH. Entre las propiedades que presenta el ácido clorhídrico, se encuentra su capacidad para regular la acidez del agua (pH). Debido a esta propiedad, suele utilizarse tanto para controlar el pH del agua en piscinas, como para el control de la ionización del agua para uso humano.

Esto hace posible que se conserve una adecuada condición química para el agua de las piscinas, lo cual es de gran importancia para conseguir mantener y

preservar la salud y la seguridad de las personas que las utilizan. Otro uso importante de este ácido en este ámbito es la reducción de la alcalinidad total del agua.

Recordemos que un pH de 0 presenta un comportamiento totalmente ácido, mientras que un pH de 14, nos muestra un comportamiento completamente básico, por esto, lo ideal es conseguir un pH neutro, es decir, pH de 7. Este nivel de pH (7) es el más adecuado de cara al contacto con la piel y los ojos. Además, otorga unos niveles bastante buenos de cloro que ayudan a prevenir el desarrollo de hongos, bacterias o incluso algas. Por ello se trata con ácido clorhídrico cuando el pH del agua se ha vuelto demasiado básico [49].

- Procesamiento y producción de alimentos. El ácido clorhídrico es una sustancia que se utiliza con gran frecuencia en la industria alimentaria, generalmente es utilizado para producir y depurar una gran variedad de alimentos. Algunas de las aplicaciones más importantes, es por ejemplo en la elaboración de un almíbar de maíz rico en azúcar, como la fructosa. Con el HCl, lo que pretende la industria es la restauración de resinas que son empleadas para la eliminación de cualquier impureza, de igual manera se usa para conseguir una rectificación del almidón presente en el maíz.

El uso de los jarabes de maíz, es llevado a cabo en la elaboración de bebidas con gas. También se usa en galletas saladas y dulces, cereales o ketchup. Otra aplicación que presenta este ácido es acidular huesos triturados que son usados para la producción de gelatinas, y como acidificante para productos como salsas o productos enlatados, de forma que ayuda a conservar el sabor y minimizar el deterioro, podemos encontrarlo de igual manera en la producción de edulcorantes o alimentos envasados.



Figura 4.6.2. Operario de una planta alimenticia vertiendo ácido clorhídrico en un depósito.

- Aplicaciones en joyería. Se conoce como agua regia a la mezcla de dos ácidos concentrados, concretamente en ácido nítrico y el clorhídrico, las proporciones son una parte de nítrico por tres de clorhídrico. Obteniéndose un líquido de un tono naranja con una corrosividad muy alta. Recibe este nombre de agua regia debido a la propiedad que presenta de poder disolver metales nobles o regios, llamados así por su alteración nula y su reactividad tan baja, estas propiedades junto con el brillo los hace aptos para su empleo en sectores como la joyería, el metal más representativo con estas características es por excelencia el oro. Como se comentaba, el agua regia es capaz de disolver el oro y otros metales nobles ya que sus dos componentes se complementan y actúan de una forma distinta. Mientras que el ácido nítrico es un agente oxidante, el ácido clorhídrico es el encargado de contribuir por la capacidad de aportar aniones cloruro, que coordina a los iones de oro, sacando el oro de la disolución. En conjunto, el resultado de este proceso es la disolución del metal noble, lo que no son capaces de conseguir estos ácidos si actúan por separado [50]. El agua regia con presentan una gran estabilidad, por tanto, debe ser preparada antes de su utilizació



Figura 4.6.3. Agua regia.

5. MATERIALES Y MÉTODOS.

Este proyecto fue desarrollado en la Estación Experimental Agroalimentaria 'Tomás Ferro' perteneciente a la Universidad Politécnica de Cartagena 'UPCT', situada en el polígono industrial de La Palma.

Los materiales utilizados fueron:

- Bomba de vacío.
- Báscula de precisión de laboratorio serie ST-2100
- Kitasato con capacidad para 250 mL.
- Medio adsorbente empleado para la eliminación de nitratos.
- Soporte para el medio filtrante.
- Embudo.

- Jeringuillas de laboratorio de 1, 2 y 5 mililitros de capacidad.
- Vasos de ensayo con diferentes capacidades, 100, 500, 1000 mL.
- Probetas de 25 y 100 mL.
- Pequeña espátula apta para laboratorio.
- Aparato medidor de nitratos para el análisis de aguas, suelos, savia en plantas y alimentos “HORIBA LAQUAtwin NO_3 -11”.
- Ácido clorhídrico HCl al 35% de pureza.
- Garrafas de agua destilada de 5 litros.
- Elementos de seguridad como guantes impermeables y aislantes y gafas de seguridad.



Figura 5.1. Jeringuillas de laboratorio de diferentes capacidades.



Figura 5.2. Equipo HORIBA LAQUAtwin NO_3 -11.

5.1. Reactivos sólidos y líquidos

Los reactivos tanto sólidos como líquidos fueron:

- Medio adsorbente de eliminación de nitratos mediante adsorción química.



Figura 5.1.1. Medio adsorbente conectado a bomba de vacío.

- Nitrato sódico (NaNO_3) para la preparación de disolución de trabajo.



Figura 5.1.2. Reactivo de NaNO_3 de la marca Panreac.

Y los líquidos:

- HCl al 35%.
- Agua destilada.

5.2. Desarrollo del ensayo experimental para la retención de nitratos.

Se prepararon disoluciones a partir del reactivo de NaNO_3 de la marca Panreac de una riqueza del 99% y agua destilada. Previamente a la realización de ensayos, pedimos a la empresa que suministro el medio adsorbente, una caracterización del mismo, obteniendo del mismo la siguiente información.

Capacidad retención medio adsorbente	Densidad	Granulometría
3.50 – 5.80 [g NO_3^-/kg]	0.22 – 0.45 [kg/L]	30 – 150 [μm]

Tabla 5.1. Caracterización del medio filtrante.

Durante este periodo de prácticas en la estación de 'Tomás Ferro' realizamos experimentos distribuidos en ambas fases.

En la figura 5.2.1 se detalla cada uno de los elementos que son necesarios para realizar estos ensayos.

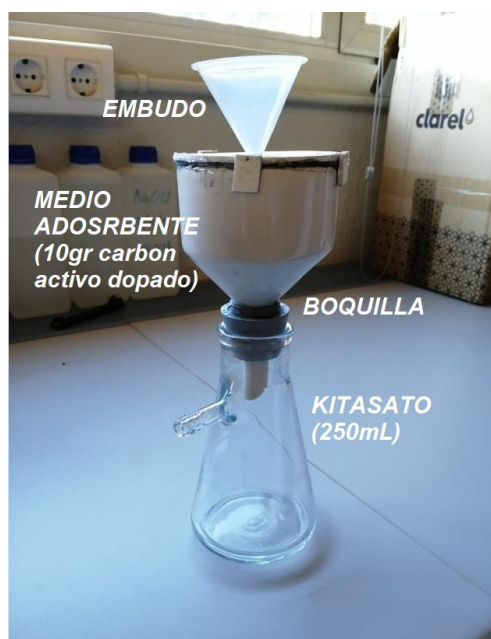


Figura 5.2.1. Partes y elementos que se utilizaron para la realización de los ensayos.

Uno de ellos consiste en la realización de ensayos para evaluar la capacidad o el límite de filtrados que podemos obtener del medio adsorbente conforme aumentamos las ppm de nitratos presentes en cada ensayo. Durante esta parte del proyecto, se evaluó como afectaban los lavados con HCl nuevo en cada uno de estos lavados, en la posterior eliminación de nitratos al pasarlos por el medio adsorbente.

Este lavado consistía en pasar por el medio adsorbente 100 mililitros de ácido clorhídrico, este ácido clorhídrico se desechaba para cada lavado, no obstante, cuando realizamos la segunda fase de este proyecto, el ácido clorhídrico que se utilizaba era siempre el mismo, es decir, HCl reciclado, para así comprobar la efectividad de este ácido tras repetidos lavados.

Por otro lado, una vez realizado estos ensayos, se procedió a realizar ensayos con la misma cantidad de ppm de nitratos, concretamente 100 ppm de nitratos, y evaluar la efectividad del medio regenerante empleado, en este caso el HCl. Con esta segunda fase lo que buscamos es un ahorro en costes para comprar nuevo HCl en cada filtrado, debido a su reutilización.

A continuación, voy a explicar cómo realizar el ensayo, correspondiente a la primera botella y 100 ppm. Lo primero que hicimos fue preparar una disolución madre de la que obteníamos la cantidad de disolución necesaria para cada ensayo, esta disolución madre la preparábamos de la siguiente manera. Si sabemos que la masa molecular de NaNO_3 es 85 gramos/mol, y de esos 85 gramos, 62 gramos son solamente de NO_3 , si queremos una disolución con entre 1-1,5 gramos de NO_3 mediante una sencilla regla de 3 obtenemos que:

$$85\text{gr NaNO}_3 \rightarrow 62\text{gr NO}_3$$

$$1 - \text{gr NaNO}_3 \rightarrow x \text{gr NO}_3$$



Figura 5.2.2. Bote de reactivo de NaNO₃ de la marca Panreac.

Siendo x la cantidad de gramos de NO₃ que tendremos en nuestra disolución madre en este caso $x = 0,729$ g/L NO₃, para pasarlos a ppm, rellenamos el resto de recipiente, en nuestro caso una botella, con 1 litro de agua destilada, por tanto, como sabemos que 1g/L equivalen a 1000ppm, solo hemos de multiplicar el resultado por 1000 para obtener en ppm la cantidad de NO₃ presentes en la disolución madre, siendo por tanto 729 ppm.



Figura 5.2.3. Botella de plástico en la que se almacenaba la “disolución madre”.

Una vez obtenida la disolución madre, para obtener los mililitros correspondientes a las 100 ppm lo haremos de la siguiente manera

$$1L \rightarrow 680 \text{ ppm}$$

$$x \rightarrow 100 \text{ ppm}$$

Obtenemos que x corresponden con 147 mL de disolución madre. De esta manera podemos calcular la cantidad de mililitros necesarios para realizar el ensayo con 100 ppm. Una vez obtenido, se procede a pasarlos por el medio adsorbente que contiene carbón activo dopado y se analizará la cantidad de nitratos que han sido retenidos en el medio adsorbente.



Figura 5.2.4. Introducción de una de las muestras en el medio adsorbente.

Este cálculo se realiza de la siguiente manera, se coge una muestra de los 147 mL filtrados, y se obtiene que el aparato encargado de medir la cantidad de nitratos nos marca 350 ppm, esto significa que la muestra ha pasado de 680 a 350 ppm.

$$680 \text{ ppm} \rightarrow 350 \text{ ppm}$$

$$100 \rightarrow x \text{ ppm}$$

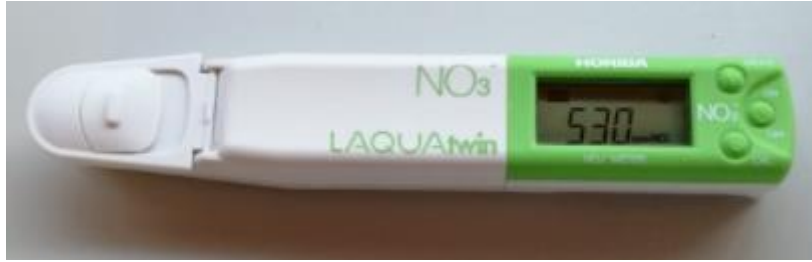


Figura 5.2.5. Resultado de una de las muestras pasadas por el medio adsorbente.

Siendo x la cantidad de ppm de nitratos que hay en la muestra con respecto a 100 ppm, en este caso $x = 51,47$ ppm. Esto quiere decir que el medio adsorbente ha retenido $100 - 51,47$ ppm, es decir, **ha eliminado 48,52 ppm de NO_3** .

Si queremos expresarlo en forma de porcentaje de NO_3 retenidos por el medio adsorbente, lo haremos de la siguiente manera:

$$\% NO_3 \text{ retenidos} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \cdot 100$$

En nuestro caso

$$\% NO_3 \text{ retenidos} = \frac{100 - 51,57}{100} \cdot 100 = 48,53\%$$



Figura 5.2.6. Extracción del medio adsorbente e introducción a la Horiba de una pequeña cantidad de la muestra.

Concluimos el ensayo observando que, para la primera muestra de 100 ppm, el medio adsorbente ha retenido 48,53 ppm, es decir, ha eliminado un 48,53% de las ppm de nitratos contenidas en la muestra.



Figura 5.2.7. Proceso de lavado del medio adsorbente con HCl.

Una vez pasado por el medio adsorbente los 100 mL de HCl, mediamos 150 mL de agua destilada y la introducíamos de nuevo en el medio adsorbente. Este proceso del agua destilada lo realizamos entre 3 y 4 veces, cada una de las veces con 150 mL nuevos de agua, hasta que el medidor de nitratos media una cantidad de entre 30-60 ppm de nitratos. Hay de destacar que teóricamente, el medido de nitratos debería medir 0 ppm de nitratos al medir agua destilada, pero debido a los nitratos retenidos en el medio adsorbente, es prácticamente imposible obtener este valor.

Cuando el valor de la horiba (medidor de nitratos) era aceptable (rango 30-60), se podía considerar que el medio adsorbente estaba listo para volverse a utilizar.

Explicado de forma breve en que consistió la primera fase de este proyecto, nos centraremos ahora en la rentabilidad, y eficacia del ácido clorhídrico, para ello

realizamos una serie de ensayos que consistían hacer pasar por el medio adsorbente repetidas muestras de 100 ppm de nitratos, y posteriormente realizar un lavado con ácido clorhídrico. Esta vez, como ya he mencionado, el ácido es reutilizado, siempre utilizaremos los mismos 100 ml para realizar los sucesivos lavados.

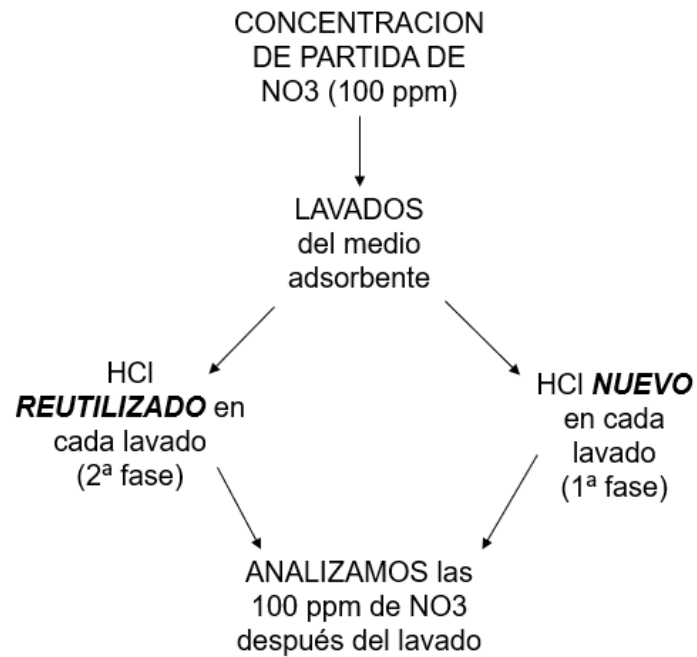


Figura 5.2.8. Esquema general del proyecto realizado.

He de mencionar que en cualquier momento en que se tuviera que manipular este ácido, debido al peligro que conlleva, siempre nos equipábamos con guantes químicos de seguridad, gafas de plástico para protegernos la cara y concretamente los ojos de los gases tóxicos que se desprendían. De igual manera, se mantenían las ventanas abiertas, consiguiendo así una notable ventilación del laboratorio donde se trabajaba, reduciendo al mínimo el posible riesgo y peligro que podía existir a manipular el ácido clorhídrico en repetidas ocasiones.



Figura 5.2.9. Guantes de laboratorio de seguridad y gafas de protección.

Aunque se ha dicho anteriormente que se empezó a utilizar el mismo ácido clorhídrico reciclado en esta segunda fase del trabajo, realmente se empezó a utilizar un poco antes, es decir, cuando se realizaron lavados de los últimos ensayos de la primera fase. Por tanto, cuando se comenzó la realización de la segunda fase, el ácido clorhídrico empleado ya se había utilizado un total de once veces.

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

6.1. Gráficas y curvas y análisis de los resultados

Durante los meses en los que se estuvo midiendo la efectividad y la cantidad de nitratos que podía adsorber el medio adsorbente, por un lado, y se evaluó la efectividad del medio regenerante empleado en este caso el HCl por otro lado, Se obtuvo un gran número de datos e información recopilados en tablas de Excel, que se van a representar a continuación de una manera simplificada mediante graficas de puntos.

En primer lugar, vamos a representar mediante un gráfico de puntos, la cantidad de nitratos que fueron adsorbidos por el medio adsorbente tras el primer ensayo después de un lavado con ácido clorhídrico.

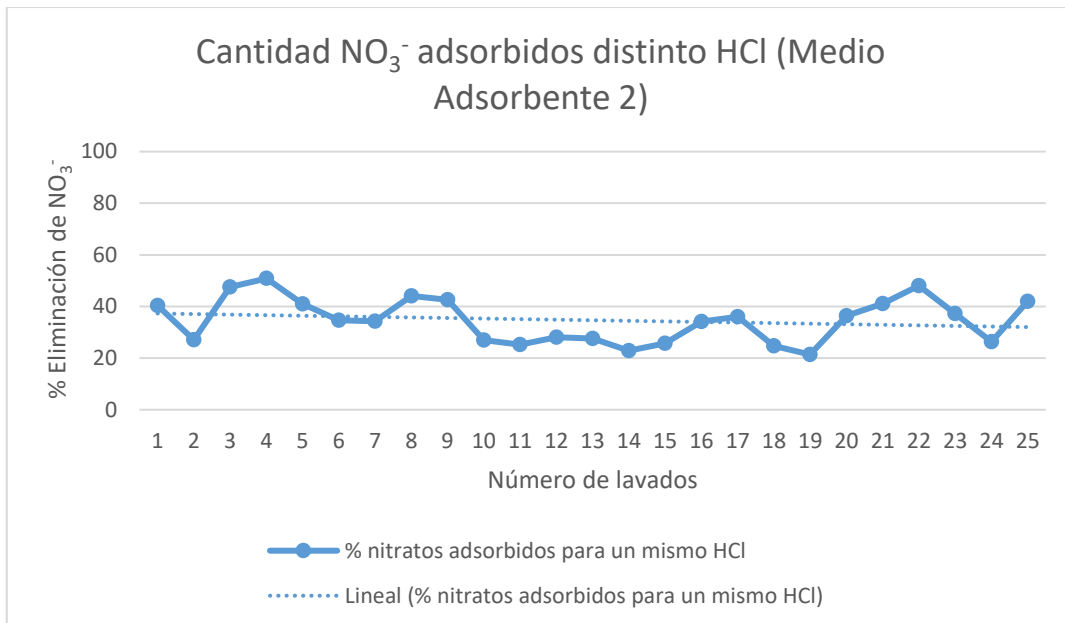


Figura 6.1.1. Cantidad NO_3^- adsorbidos distinto HCl (Medio Adsorbente 2).

Cada uno de estos lavados se realizaron cada vez con un ácido clorhídrico diferente, y como se puede observar, sin tener en cuenta las diversas irregularidades que se pueden encontrar en los medios adsorbentes o incluso en este ácido fuerte, aproximadamente sigue una tendencial lineal prácticamente constante, puesto que al estar cambiando continuamente de HCl al realizar un nuevo lavado, este ácido no pierde ninguna propiedad, por tanto el resultado del primer lavado debería ser aproximadamente igual.

Para explicar de alguna manera estas continuas bajadas y subidas que presenta la gráfica, comentare que estos datos son de la primera fase del proyecto, debido a esto, eran los primeros ensayos y toma de datos que realizamos. En consecuencia, cabe la posibilidad de que no estuviéramos muy familiarizado con los instrumentos utilizados, ni con los resultados de deberíamos de haber obtenido. Otro punto a comentar es una serie de problemas que tuvimos durante las primeras semanas a la hora de obtener los datos y la información que nos proporcionaba el equipo Horiba (apartado encargado de medir los nitratos).

En la siguiente gráfica se muestra cómo se comporta el medio adsorbente cuando hacemos pasar por él, el mismo ácido clorhídrico utilizado un número repetido de veces. Para ello vamos a dividir los gráficos de puntos en semanas.

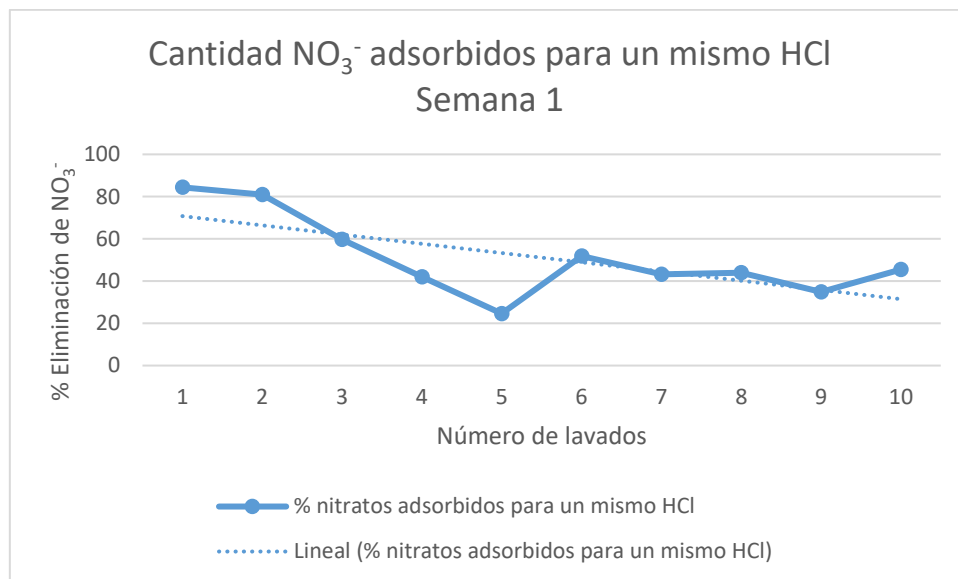


Figura 6.1.2. Cantidad NO₃⁻ adsorbidos para un mismo HCl (Semana 1).

Lo primero que observamos en esta gráfica es la que utilizamos un mismo ácido clorhídrico con respecto a la anterior, en la que se usaba distinto HCl para cada lavado del medio adsorbente, es que las primeras muestras presentan un valor de en torno al 80-60%, mientras que en la gráfica anterior empezaban los primeros ensayos en un intervalo de aproximadamente entre 25-50%.

Una posible explicación a esta anomalía puede ser que se realizaron los ensayos con distinto medio adsorbente. Como ya se ha mencionado anteriormente, se comenzó

a utilizar el mismo HCl en los lavados de los últimos ensayos de la primera fase de este proyecto, y en la recta final de dicha fase el medio adsorbente que se utilizaba con mayor frecuencia era el medio adsorbente 1, no obstante, durante la fase 1 el medio adsorbente que se utilizó casi en la totalidad de ensayos fue el medio adsorbente 2, ya que el 1 tuvieron que llevárselo para arreglarlo, y justo cuando nos lo devolvieron ya arreglado fue cuando comenzamos a utilizarlo. Es por eso que en la Figura 6.2.1. en la que se utilizaba distinto HCl se comenzaba por un valor tan bajo de nitratos retenidos en el medio adsorbente, ya que el medio adsorbente 2 ya se había utilizado en unas cuantas muestras anteriormente y es posible que estuviera perdiendo su efectividad, más aún, cuando al principio tuvimos que realizar varios ensayos sin apuntar datos ya que nos estábamos familiarizando con el material de laboratorio.

Se puede apreciar que, en los 5 primeros ensayos, el decrecimiento de la cantidad de nitratos retenidos en el medio adsorbente es bastante más pronunciado que en el resto de muestras, viendo como a continuación la gráfica tiende a estabilizarse. Sin embargo, se observa claramente una tendencia descendiente, mostrándose en los primeros ensayos de una forma más clara.

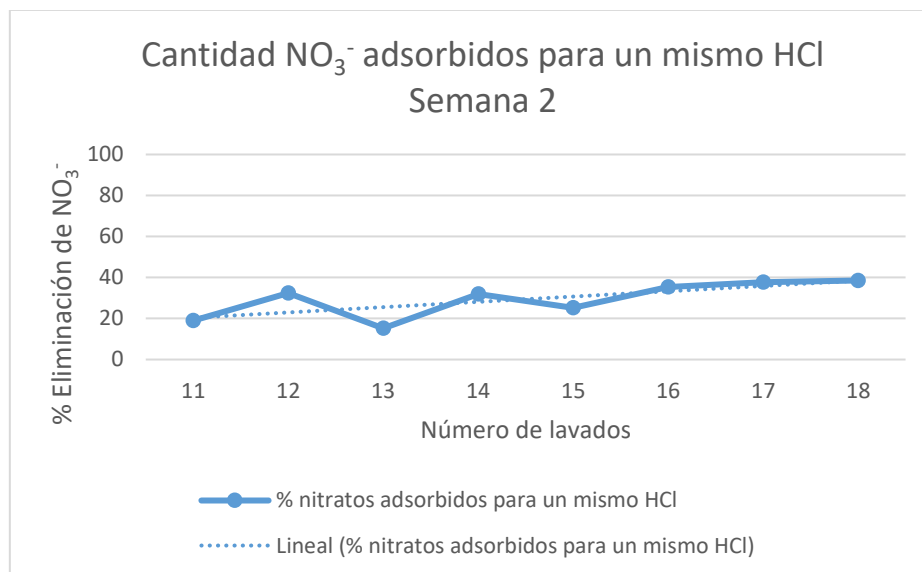


Figura 6.1.3. Cantidad NO₃⁻ adsorbidos para un mismo HCl (Semana 2).

Como se puede observar en esta figura, el porcentaje de nitratos retenidos en el medio adsorbente mantiene una tendencia constante entre el ensayo 11 y el 15, sin embargo, adquiere una tendencia ligeramente creciente a partir del ensayo 15. Esta anomalía puede deberse a que entre la muestra 14 y 15 pasaron unos días de diferencia, y el ácido clorhídrico permaneció en el laboratorio expuesto al sol, quizá esto altere de alguna forma las propiedades de este ácido, o al estar contenido en la misma botella

tantos días y exponerla al sol, pueda suponer algún cambio en las propiedades del ácido que hagan que a partir de ese ensayo, la tendencia adquiriera un carácter creciente, no obstante el crecimiento de porcentaje de nitratos adsorbidos en las mitad de muestras de esta semana es muy ligero, y apenas insignificante.

Mencionar también que a partir del lavado número 16 con el mismo HCl, se comenzó a utilizar el medio adsorbente 2, ya que el medio adsorbente 1 como se mencionó en apartados anteriores, es cierto que una vez que la empresa Useful Wastes S.L. nos lo devolvió ya arreglado, filtraba correctamente, no obstante, tardaba mucho más tiempo en filtrar que el medio adsorbente 2. Y dado que después de cada lavado con HCl se volvía a pasar por el medio adsorbente 3 o 4 muestras de 150 mililitros de agua destilada para poder arrastrar los nitratos cuyos enlaces había roto el HCl previamente pasado por el medio adsorbente, y este hecho de lavar el medio 150 mL de agua destilada 3 o 4 veces, ralentizaba mucho el proceso, por ello decidimos volver a cambiar al medio adsorbente 2.

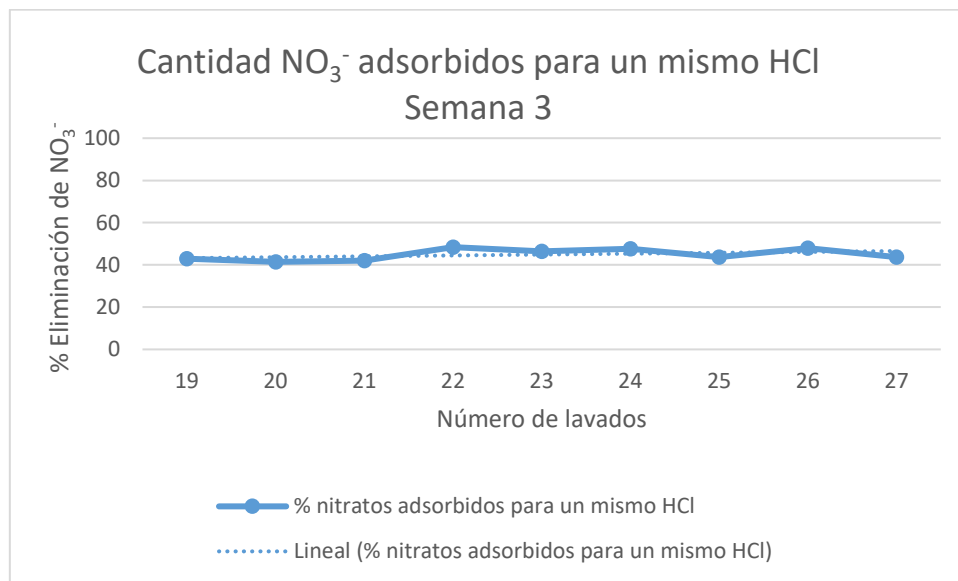


Figura 6.1.4. Cantidad NO₃⁻ adsorbidos para un mismo HCl (Semana 3).

Durante la tercera semana trabajando en esta segunda fase del proyecto, se observa como la cantidad de nitratos que son adsorbidos en el medio adsorbente después de lavar dicho medio adsorbente con un mismo HCl reutilizado en repetidas ocasiones, es prácticamente constante y es ligeramente superior al 40%. Apoyándonos en la figura 6.2.3. se ve como a partir del lavado número 16 con el mismo HCl, los

resultados se mantienen prácticamente constante en esta franja por encima del 40% mencionado.

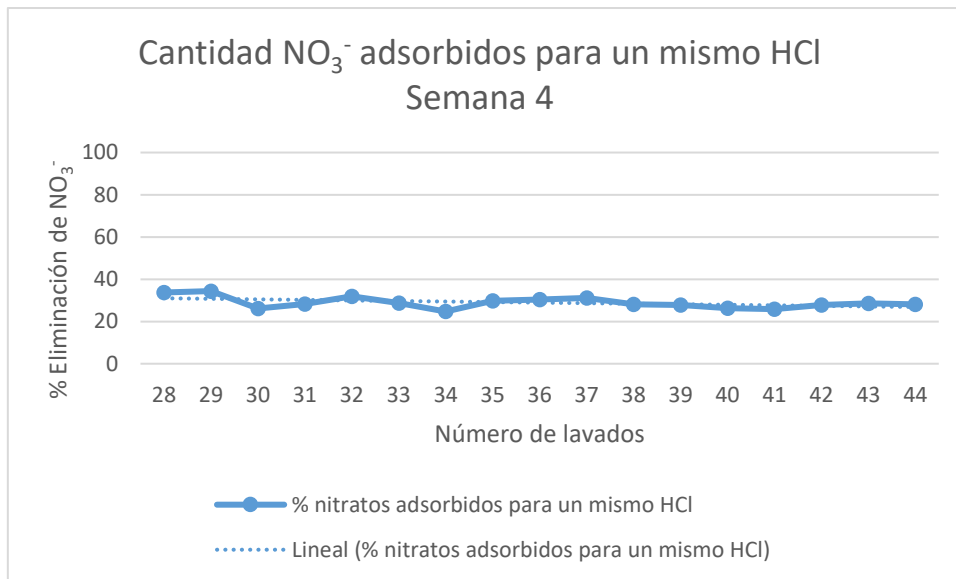


Figura 6.1.5. Cantidad NO₃⁻ adsorbidos para un mismo HCl (Semana 4).

Finalmente se adjunta la figura 6.2.5. que muestra la última semana que estuvimos trabajando en el laboratorio de “Tomas Ferro”. Lo primero que nos llama la atención es la diferencia de ensayos que se han realizado esta última semana con relación a las semanas anteriores. Esto se debe a que en el resto de semanas, después de cada lavado del medio adsorbente con ácido clorhídrico, se procedía a lavar de nuevo el medio adsorbente con 3 o 4 muestras que contenían 150 mililitros de agua destilada, hasta que el valor que nos mostraba la horiba fuese de entre 30-60 ppm de nitratos. Este proceso nos llevaba bastante tiempo porque por cada lavado con HCl, necesitábamos otros 3 o 4 lavados del medio con agua destilada.

Lo que ocurrió fue que a partir del ensayo número 22, es decir, que se reutilizó el mismo HCl 22 veces para lavar el medio adsorbente, nos dimos cuenta que únicamente necesitábamos 2 lavados posteriores con 150 mL de agua destilada para alcanzar el valor de 30-60 ppm de nitratos en la horiba, el cual considerábamos un valor aceptable. Esto hizo que se redujera considerablemente el tiempo de cada lavado del medio, ya que pasamos de 1 lavado con HCl y 3-4 con agua, a 1 de HCl y únicamente 2 de agua.

Además, añadir también que como se ha mencionado en la página anterior, a partir del ensayo número 16, se comenzó a utilizar el medio adsorbente 2 en vez del 1 para conseguir una mayor rapidez y productividad a la hora de hacer lavados y muestras, ya

que el medio adsorbente 2 realizaba el proceso de adsorción mucho más rápido que el 1, como ya se discutió anteriormente.

Dicho esto, al reducir el número de lavados con agua destilada de 3-4 a únicamente 2, y el hecho de cambiar del medio adsorbente 1 al 2, hizo que aumentase la rapidez y en esta última semana se consiguieran realizar un total de 17 ensayos.

Para comentar lo que se observa en la figura 6.2.4. diremos que ahora si se observa una ligera tendencia decreciente, y efectivamente, concuerda con los valores esperados. No obstante, es una tendencia muy suave y ligera. Este punto junto con el anterior, de darnos cuenta de que solo necesitábamos 2 lavados con 150 mL de agua destilada para que el medio volviera a su funcionalidad natural, nos hizo pensar que el HCl podía estar teniendo un comportamiento similar al del agua. Una manera de cerciorarnos de esto, fue realizar después del último ensayo, los 2 lavados únicamente con agua sin realizar el lavado previo con HCl, y esto se repitió en 2 ocasiones. Es decir, el ensayo 45 se realizó con 2 lavados de agua destilada, y el 46 de igual manera.

Los resultados obtenidos en los ensayos 45 y 46 tras realizar los lavados con agua fueron de 22,96 ppm y 29,62 ppm respectivamente, valores muy similares a los obtenidos en los ensayos anteriores realizando lavados también con HCl.

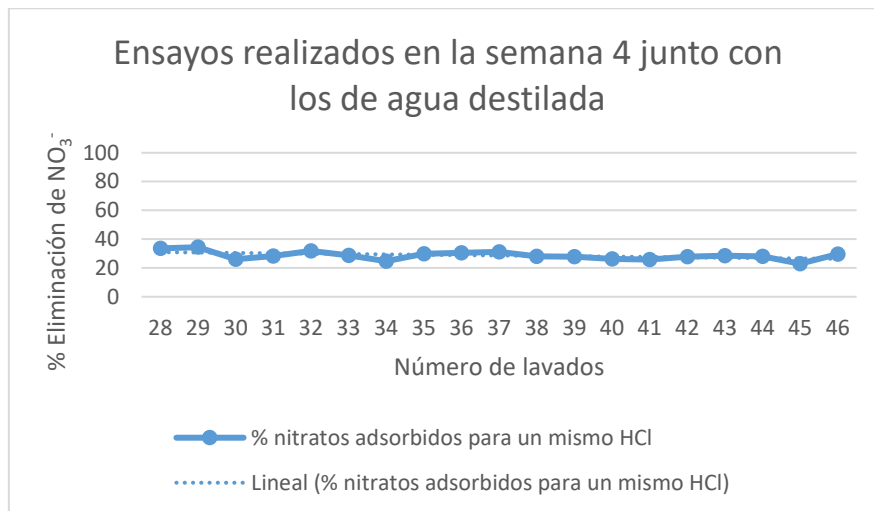


Figura 6.1.6. Ensayos realizados en la semana 4 junto con los de agua destilada.

Se observa que en el ensayo 46 realizado con 2 lavados de agua destilada, los valores de ppm de nitratos retenidos en el medio adsorbente es superior al observado en ensayo 45, esto puede deberse a que el medio adsorbente 2 lleva realizados muchos ensayos tanto en la fase uno de este proyecto como en la fase 2, por tanto, podemos pensar que está perdiendo efectividad. Por tanto, para obtener un buen rendimiento y

una gran productividad, sería ideal realizar una combinación cada 2 ensayos de lavados con HCl (y sus 2 respectivos lavados con agua destilada) y lavados únicamente con agua destilada sin utilizar el HCl. Es decir, a partir del ensayo número 22 utilizando un mismo HCl, realizar el ensayo 23 con un lavado de HCl, el 24 y 25 únicamente con lavados de agua destilada, el 26 con HCl y el 27 y 28 con agua destilada, y así sucesivamente. De esta forma se conseguirá aumentar la velocidad de ensayos ya que en los 2 ensayos que no lavamos con HCl nos ahorramos 1 lavado, y se aumenta la duración de las propiedades del HCl.

Como se comentó previamente, a partir del ensayo número 22, vemos que el ácido clorhídrico mantiene un comportamiento, o más bien, una tendencia lineal decreciente aunque de manera muy suave, lo que nos llega sugerir que empieza a comportarse como mera agua destilada. Para corroborar esto, se adjuntará a continuación una figura que muestra la cantidad de nitratos removidos en el medio adsorbente, con respecto al número de ppm de nitratos en cada una de las muestras. Estos ensayos fueron realizados en la primera fase de nuestro proyecto, como método paliativo para intentar realizar el mayor número de ensayos posibles antes de volver a realizar lavados con HCl, de esta manera se aceleraba el proceso y aprovechábamos para no saturar la boquilla de la bomba que estaba deteriorada, como se explicó en anteriores apartados.

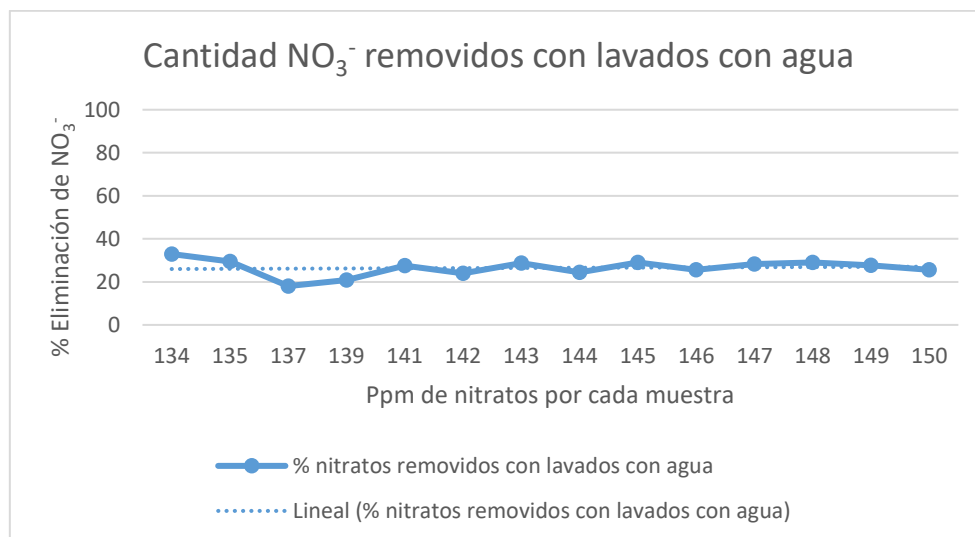


Figura 6.1.7. Cantidad NO_3^- removidos con lavados con agua.

Observamos que prácticamente, se observa la misma tendencia que en la figura 6.2.6. lo que nos lleva a tener una mayor certeza de que aproximadamente a partir del ensayo 22 con un mismo HCl, este ácido comienza a adquirir un comportamiento similar al del agua destilada.

A modo de conclusión acerca de por qué utilizamos este ácido y sus respectivos lavados con agua destilada, diremos que se necesitamos un ácido fuerte como el HCl para así conseguir romper los enlaces de unión de los nitratos que se encuentran presentes en el medio adsorbente, y una vez rotos estos enlaces entre nitratos, la funcionalidad que presentaba el agua destilada era la de remover consigo los nitratos contenidos en el interior del medio adsorbente.

En un momento durante la realización de este proyecto, se decidió utilizar agua destilada para “lavar” el medio adsorbente, concretamente 150 ml de agua destilada, de esta manera se consiguió acelerar y mejorar la eficacia de manera notable la cantidad de nitratos que se eliminaban después de un lavado. Llegando a ir alternando los denominados “mini-lavados” de agua con lavados de HCl.

Cabe destacar que estos “mini-lavados” con 150 mL de agua destilada únicamente tiene sentido cuando se trabaja en un laboratorio químico que cuente con una bomba trabajando a vacío, ya que de esta manera conseguimos hacer pasar el agua a través de los numerosos poros que presenta nuestro material regenerante, en nuestro caso el carbono activo dopado, por efecto de la presión. Sin embargo, en una planta industrial, esto no sería posible ya que el agua cae por efecto de la gravedad, y no debido al efecto de vacío producido por la bomba que teníamos en el laboratorio.

6.2. Problemas y soluciones en el desarrollo del trabajo.

Uno de los problemas que se nos presentó al comenzar este proyecto fue que no siempre coincidía el valor esperado teóricamente que calculábamos de la cantidad de nitratos disueltos en la “disolución madre” con el obtenido en el aparato de medida de nitratos (HORIBA).

Esto puede deberse a que en ciertas ocasiones nos olvidamos de agitar correctamente la botella en la que depositábamos la disolución madre que usábamos para obtener las muestras de los diferentes ensayos, por tanto, puede ser que, al no disolverse correctamente, cuando cogíamos una muestra de esa disolución para cerciorarnos de que se correspondía con la cantidad de nitratos esperada teóricamente, no obteníamos el mismo valor. Además, también puede deberse a errores en la pesada, etc. El valor de ppm de nitratos que utilizábamos para los cálculos posteriores siempre era el que obteníamos con el medidor de nitratos.

En relación con esto, otro problema muy recurrente es que, de un día para otro, una botella con disolución madre podría medir diferentes valores de ppm de nitratos, es decir, si tomábamos una muestra de una disolución madre para ver qué cantidad de nitratos tenía, al cabo de uno o varios días, lo más probable era que este valor medido de la misma botella con el mismo aparato que empleábamos para medir la cantidad de nitratos, cambiase.

Quizá pueda deberse al tiempo prolongado que la botella con la disolución madre quedaba expuesta al sol de un día para otro, o bien por presentar diferentes cambios de temperatura, incluso en ocasiones, cuando volvíamos a medir la cantidad de nitratos de una botella con disolución madre, era común que olvidásemos agitar previamente esta botella, por eso como se mencionó anteriormente, el valor de nitratos era ligeramente distinto. De igual manera, el valor que se utilizaba para los cálculos pertinentes siempre era el que marcase el medidor de nitratos ese día.

Destacar que no teníamos únicamente un medio adsorbente, sino que la empresa Useful Wastes S.L. nos proporcionó un par de medio adsorbentes para agilizar el proceso, el problema fue que no pudimos utilizarlos de manera simultánea debido a las razones que se expondrán a continuación. Un punto a tener en cuenta son los diferentes cambios que hacíamos a la hora de utilizar un medio adsorbente u otro.

Durante las primeras semanas trabajando en la Estación Experimental Agroalimentaria 'Tomás Ferro', durante la realización de los primeros ensayos en la primera fase de este proyecto, observamos que el "medio adsorbente 1" no adsorbía de manera adecuada ni de forma efectiva la cantidad de nitratos que teóricamente debía de adsorber, es decir, adsorbía en cada ensayo cerca del 20% de la cantidad total de nitratos que contenía la muestra. Este hecho nos pareció anormal y comenzamos a dudar acerca de la efectividad de este "medio adsorbente 1". Por ello, decidimos hablar con nuestro tutor de prácticas y responsable de la empresa Useful Wastes S.L. para decidir reemplazarlo por otro medio adsorbente o bien arreglar el medio adsorbente defectuoso. Este proceso de intercambio de "medio adsorbente 1" llevo cerca de 2 semanas, por tanto, durante este periodo de tiempo comenzamos a realizar los diferentes ensayos con el medio adsorbente 2.

Una vez que se nos devolvió el medio adsorbente 1 ya solucionado el problema que presentaba, observamos que efectivamente mejoro de manera notoria su rendimiento. Sin embargo, la velocidad que presentaba para adsorber nitratos se reducía considerablemente, lo cual significó un inconveniente en cuanto a optimización y

agilidad del proceso. Esto hizo que continuáramos utilizando el medio adsorbente 2 en lugar del 1, únicamente usando el medio adsorbente 1 en ocasiones concretas.

Cabe mencionar, que cada vez que llegábamos al laboratorio y comenzábamos a realizar ensayos, realizábamos un lavado con ácido clorhídrico y sus respectivos lavados con agua destilada para el medio adsorbente en cuestión. De esta manera, nos asegurábamos que eliminábamos todos los nitratos adheridos a las paredes o contenidos en el medio adsorbente que podrían quedar en su interior con los ensayos realizados en días anteriores.

Cuando realizábamos lavados, a la hora de introducir los sucesivos 150 mL de agua destilada en el medio adsorbente, en alguna ocasión se cometió el error de verter con demasiada velocidad el agua destilada en el interior del medio adsorbente, provocando así que esta se desbordara, y lo adsorbiera correctamente. Esto conllevaba una posterior limpieza de la zona exterior del medio adsorbente de forma que algunas veces debido a este fallo, algunos ensayos nos llevaban más tiempo de los habitual y nos ralentizaba en el proceso.

Además, no solo ocurrió únicamente a la hora de lavar con agua destilada, sino que a la hora de introducir la muestra con las ppm de nitratos correspondientes procedentes de la “disolución madre” alguna vez se cometió este mismo error de vertirlo demasiado rápido, y en este caso, se requería volver a tomar una muestra de esas ppm concretas de la disolución madre y repetir de nuevo el proceso ya que al no realizar un proceso correcto de adsorción, se decidió desechar la muestra desbordada y repetirla de nuevo.



Figura 6.2.1. Zona por la que desbordaba el medio adsorbente.

Aproximadamente sobre la mitad de duración en que llevamos a cabo este proyecto, observamos que el tubo que conectaba el conducto de plástico por el que circulaba el aire cuando filtrábamos a vacío con la bomba de vacío, estaba de un color negro y con pequeños residuos en su interior, esto pudo deberse a que, en algunas ocasiones, se nos olvidó separar este tubo que actuaba a modo de unión, de la bomba de vacío. Una vez que nos percatamos de este problema, nos aseguramos en cada una de las ocasiones que hacíamos un descanso o bien dejábamos el laboratorio para volver el día o la semana siguiente, separábamos este tubo de la bomba.

Este problema también provocó un deterioro del saliente por el cual se producía el vacío en dicha bomba, creemos que se debió a los momentos en el que la bomba filtraba a vacío el ácido clorhídrico, y al no desconectar el tubo de la bomba, es posible que los residuos o las gotas de este ácido que permanecieron en el interior del tubo, hayan corroído este saliente de plástico perteneciente a la bomba.



Figura 6.2.2. Saliente dañado debido al HCl en una bomba de vacío

Como se puede observar en la figura 6.1.2, la boquilla encargada de absorber aire para poder realizar una filtración a vacío está mucho más deteriorado que la otra boquilla de la bomba, encargado de expulsar el aire.

Debido a esto, únicamente pudimos utilizar una bomba de vacía en vez de las dos de las que disponíamos, por eso el proceso de ralentizó y no pudimos hacer cada ensayo con la velocidad que nos hubiera gustado.

7. CONCLUSIONES

Tras la realización del presente Trabajo Fin de Grado, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. El medio adsorbente empleado presenta una capacidad de retención de nitratos que oscila entre el 60 y 85 % de los nitratos que se hacen pasar por el mismo, cuando partimos de una concentración inicial de 100 ppm de nitratos.
2. En el proceso de regeneración del medio adsorbente con ácido clorhídrico, se va a generar ácido nítrico, que podría ser utilizado en el sector agrícola para la formulación de fertilizantes, limpieza de goteros, etc., fomentando en este sentido el desarrollo de una economía circular.
3. La vida útil del medio filtrante se puede establecer en torno a unas 22 o 23 regeneraciones, conllevando una pérdida de efectividad moderada, la cual permite el uso en estas 22 regeneraciones.
4. Se ha puesto de manifiesto que el uso reiterado del medio adsorbente no implica una pérdida de poder de adsorción de nitratos a lo largo de los ensayos que se han realizado. Podemos afirmar que el medio adsorbente sigue una tendencia aproximadamente lineal con respecto a la adsorción de nitratos.
5. Respecto a la posible reutilización del material regenerante, podemos concluir que los materiales empleados son viables económicamente comparados con el coste de una planta desalobradoradora.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- [1]. Blog Oxfamintermon. Problemas derivados de la escasez de agua <https://blog.oxfamintermon.org/los-problemas-derivados-de-la-escasez-de-agua/>
- [2]. GreenFacts. Facts on Health and the Enviroment. Recursos hídricos; ¿Dónde y en qué forma está disponible el agua en la tierra? <https://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/l-2/2-disponibilidad.htm#0>
- [3]. Equipos Osmosis Inversa; 8 métodos de purificación del agua, probados y efectivos. <https://equipososmosisinversa.com/8-metodos-de-purificacion-del-agua/>
- [4]. Iberdrola, sostenibilidad, contaminación del agua. La contaminación del agua, como no poner en peligro nuestra fuente de vida. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contaminacion-del-agua#:~:text=Los%20principales%20contaminantes%20del%20agua,resulte%20invisible%20en%20muchas%20ocasiones.>
- [5]. IAGUA; Connecting waterpeople. iAgua Magazine 34; Posidonia Oceánica, un reto para el Mar Mediterráneo. Simon Coustes 28-09-2020. <https://www.iagua.es/blogs/simon-coustes/posidonia-oceania-reto-mar-mediterranea>
- [6]. Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L. Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica, **2006**, *Ramoge Pub*, 1-202
- [7]. IMA: Informe de Medio Ambiente en Andalucía. Junta de Andalucía. Informe medioambiental de 2004; Incidencias de las plantas desaladoras en las praderas de Posidonia. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/ima/menuitem.5893969315ab596f7bbe6c6f5510e1ca/?vgnnextoid=63258d1bd0e31210VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextchannel=addcc9865551b210VgnVCM1000001325e50aRCRD&lr=lang_es

[8]. Esfera del agua. 2005-2015: Decenio internacional para la acción 'El agua, fuente de vida'. Contaminación del agua por nitratos y técnicas para su tratamiento. Antonio E. Palomares. Instituto de Tecnología Química (UPV-CSIC) <https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento>

[9]. La contaminación por nitratos en la agricultura y sus efectos en la salud humana: beneficio de una fertilización en cloruro. Rosales Villegas, Miguel Ángel. Julio de 2020. Hidden Nature (11): Contaminación. Art. 3 (2020) <https://digital.csic.es/handle/10261/216086#:~:text=El%20nitrato%20tiene%20una%20alta,contaminaci%C3%B3n%20de%20acu%C3%ADferos%20o%20pozos.>

[10]. Esfera del agua. 2005-2015: Decenio internacional para la acción 'El agua, fuente de vida'. Contaminación del agua por nitratos y técnicas para su tratamiento. Antonio E. Palomares. Instituto de Tecnología Química (UPV-CSIC) <https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento>

[11]. Blog Ayuda en Acción. Sostenibilidad y escasez de agua. <https://ayudaenaccion.org/ong/blog/sostenibilidad/escasez-de-agua-problema-mundial/>

[12]. Laboratorio de Ecofisiología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Sonia Espina y Guillermina Alcaraz. https://www.toxicologia.org.ar/bibliotecavirtual/acta_toxicologica/vol_03_1/espina_1.pdf

[13]. Basulto, J., Manera, M., & Baladia, E. (2014). Ingesta dietética de nitratos en bebés y niños españoles y riesgo de metahemoglobinemia. *Pediatría Atención Primaria*, 16(61), 65-69. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1139-76322014000100013

[14]. Aqueae Fundación. Soluciones para reducir la contaminación del agua.
<https://www.fundacionaqueae.org/reducir-contaminacion-agua/>

[15]. Agencia de la ONU para los refugiados. Escasez de agua en el mundo: causas y consecuencias. ACNUR Comité Español. Febrero 2019.
https://eacnur.org/blog/escasez-agua-en-el-mundo-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst/

[16]. Análisis de los sistemas de refrigeración solar por adsorción. Capítulo 3: sistema de adsorción.
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4986/fichero/Cap%C3%ADtulo3+Sistema+de+adsorci%C3%B3n.pdf>

[17]. Fernández-Jáuregui, C. A. (2003). El agua como fuente de conflictos.
<https://cidta.usal.es/cursos/sociologia/modulos/libros/U2-C2/El%20agua%20como%20fuente.pdf>

[18]. Radio televisión de la Región de Murcia. Alicia Parra; Onda Regional Murcia.
<https://www.orm.es/informativos/noticias-2020/los-expertos-advierten-de-que-el-problema-del-mar-menor-sera-39-incontrolable-39-si-no-se-actua-de-manera-coordinada/>

[19]. Martínez Sánchez, J.J., Álvarez Rogel, J., Díaz García, C, García Bermejo, J.T. (2018). Informe sobre la utilización de biorreactores con madera para desnitrificación de salmueras en el campo de Cartagena. Universidad Politécnica de Cartagena, Cátedra de Agricultura sostenible

[20]. García-Aróstegui, J.L., Marín, F., & Martínez, D. (2017). Informe integral sobre el estado ecológico del Mar Menor. *Hidrogeología*, 7-22.

<https://www.canalmarmenor.es/documents/575990/603406/Informe+Integral+sobre+el+estado+ecol%C3%B3gico+del+Mar+Menor>

[21]. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2019). El sector de la carne de cerdo en cifras: principales indicadores económicos 2018. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/estadisticas/indicadoreseconomicossectorporcinoano2018_tcm30-379728.pdf

[22]. CR_ArcoSur. (2 de agosto de 2018). Comienzan los ensayos de desnitrificación a escala industrial en la CR Arco Sur [Blog post]. Comunidad de Regantes Arco Sur [Blog]. <https://www.cr-arcosur.com/post/ensayos-desnitrificaci%C3%B3n>

[23]. Grupo Operativo sobre Economía Circular del Agua. (2018). Proyecto: Campo de ensayos para la eliminación y valorización de salmueras y lixiviados de origen agrícola en el campo de Cartagena. https://agrinnova.es/wp-content/uploads/2019/04/GO-SALMUERA_compressed.pdf

[24]. Hydrokemos.com (2020). Tratamiento, depuración y potabilización de agua sin dejar residuos a través de electroquímica. Eliminación de nitratos. <https://hydrokemos.com/>

[25]. Martínez Sánchez, J. J. (2020). Departamento de producción Vegetal. Universidad Politécnica de Cartagena. https://www.researchgate.net/profile/Jj_Martinez-Sanchez

[26]. Álvarez-Rogel, J. (2020). Área de Edafología y Química Agrícola Universidad Politécnica de Cartagena. https://www.researchgate.net/profile/Jose_Alvarez-Rogel

[27]. Franco Leemhuis, José Antonio.(2020). Área de Producción Vegetal- Universidad Politécnica de Cartagena

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35089985200>

[28]. Díaz García, Carolina. Investigadora Contratada (Ingeniería Agronómica). Universidad Politécnica de Cartagena. <https://orcid.org/0000-0002-8845-9320>

[29]. Fundación para el conocimiento, Madrid. Tratamientos actuales en la eliminación de nitratos. Remtavares 2 de Junio, 2009. <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2009/06/02/119366>

[30]. Purificación de agua: Eliminación de nitratos, nitritos y compuestos orgánicos utilizando catalizadores en polvo y estructurados. *Universidad Federal Do Rio Grande Do Sul. Fernanda Miranda Zoppas. Santa Fe 2018.* https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/79567/CONICET_Digital_Nro.e6d0cc64-c4b8-4928-b4ea-97dd45b3114b_A.pdf?isAllowed=y&sequence=2

[31]. ¿Qué es la adsorción?. Fluencecorp.com <https://www.fluencecorp.com/es/que-es-la-adsorcion/>

[32]. Adsorción. Capítulo 2. Bibing.us.es. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70358/fichero/CAPITULO2.pdf>

[33]. Análisis de los sistemas de refrigeración solar por adsorción. Capítulo 3: Sistema de adsorción.

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4986/fichero/Cap%C3%ADtulo3+Sistema+de+adsorci%C3%B3n.pdf>

[34]. Tema 7. Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea. Departamento de Química Física. Universidad de Valencia. https://www.uv.es/tunon/pdf_doc/Superficies_Solidas_A.pdf

[35]. Tesis doctoral en grado de Ciencias Ambientales. Activación y caracterización de materiales nanoestructurados: remoción de cadmio. 14 de septiembre de 2007.

<https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/610/3/TMIPICYTA5A32007.pdf>

[36]. Unidad 3. Fenómenos de superficie. Adsorción.
http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Unidad3Adsorcion_19664.pdf

[37]. Adsorción. Capítulo 2. (Materiales adsorbentes). Bibing.us.es.
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70358/fichero/CAPITULO2.pdf>

[38]. Humma. Sistemas de purificación de agua. Funcionamiento del carbono activo. 10 de julio de 2019. <https://humma.com.ar/como-funciona-el-carbon-activado/>

[39]. Carbotecnia, centro de aprendizaje. Tratamiento de aguas. Diferencia adsorción y absorción. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/tratamiento-de-agua/diferencia-entre-absorcion-y-adsorcion/>

[40]. Ingeniería de procesos térmicos. Absorción y adsorción.
https://www.gunt.de/images/download/absorption_spanish.pdf

[41]. Curiosoando.com. Diferencias entre adsorción y absorción.
<https://curiosoando.com/que-diferencia-absorcion-y-adsorcion#:~:text=El%20fen%C3%B3meno%20contrario%20a%20la,y%20cada%20fase%20permanece%20separada.>

[42]. Hidráulica. Diferencias entre filtro y descalcificador. <https://xn--redecoratubao-tkb.es/diferencia-entre-un-filtro-y-un-descalcificador-de-agua/>

- [43]. Dropson; The new way of treating wáter. Descalcificador de agua – *La cara oculta* <https://www.dropson.es/blog-descalcificador/descalcificador-de-agua-la-cara-oculta/>
- [44] ArQuimi. El arte de la química; Usos y aplicaciones del ácido nítrico. 27 de abril de 2021. <https://www.arquimi.com/blog/p23589-usos-del-acido-nitrico.html>
- [45] Euroinox, The European Stainless Steel Development Association. Decapado y pasivado del acero inoxidable. *Serie materiales y sus aplicaciones, Volumen 4*. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Passivating_Pickling_SP.pdf
- [46] ChemicalSafetyFacts.org; Usos y beneficios del ácido clorhídrico. <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/acido-clorhidrico/>
- [47] Aplicaciones del acido clorhídrico; múltiples aplicaciones. Aplicaciones del ácido clorhídrico en la industria metalúrgica. 26 de Junio de 2019. <https://www.acidoclorhidrico.info/aplicaciones/>
- [48] Sabelotodo.org; Limpiadores a base de ácido clorhídrico. <http://www.sabelotodo.org/productos/limpiadoresacidos.html>
- [49] Ácido clorhídrico en piscinas: regula la acidez. El ácido clorhídrico y el agua para las piscinas. 26 de Junio de 2019. <https://www.acidoclorhidrico.info/piscinas/>
- [50] La Verdad. Agua Regia; La columna de la academia. Manuel Hernández Córdoba. Lunes 21 de octubre de 2019, 23:25 <https://www.laverdad.es/ababol/ciencia/agua-regia-20191019005323-ntvo.html>

9. ANEXO.

A continuación, se adjuntarán las respectivas tablas en Excel, en las que se muestran los datos que se recogieron durante los meses en las que se ha trabajado en el proyecto previamente descrito.

REPETICION CON 100 PPM PARA COMPROBAR EFICACIA DE HCL									
DISUOLUCIÓN MADRE (PPM)	PPM	MEDIO FILTRANTE	MML	MEDIDA	PPM (NITRATOMETRO)/L	PPM (NITRATOMETRO)/ML	PPM REDUCIDAS	MEDIA (PPM)	PORCENTAJES (%)
700	100	1	142,857143	1	350	50	50	19,04761905	19,04762
				2	530	75,71428571	24,28571429		
				3	580	82,85714286	17,14285714		
				4	600	85,71428571	14,28571429		
				5	590	84,28571429	15,71428571		
14* LAVADO (100mL de HCl 2ª vez que usamos Bot.9 para lavar)									
700	100	1	142,857143	1	260	37,14285714	62,85714286	59,04761905	59,04762
				2	290	41,42857143	58,57142857		
				3	300	42,85714286	57,14285714		
				4	290	41,42857143	58,57142857		
				5	280	40	60		
15* LAVADO (100mL de HCl 3ª vez que usamos Bot.9 para lavar)									
700	100	1	142,857143	1	330	47,14285714	52,85714286	48,57142857	48,57143
				2	380	54,28571429	45,71428571		
				3	370	52,85714286	47,14285714		
				4	360	51,42857143	48,57142857		
				5	350	50	50		
16* LAVADO (100mL de HCl 12ª vez que usamos Bot.8 para lavar)									
700	100	1	142,857143	1	430	61,42857143	38,57142857	32,38095238	32,38095
				2	530	75,71428571	24,28571429		
				3	490	70	30		
				4	500	71,42857143	28,57142857		
				5	420	60	40		
17* LAVADO (100mL de HCl 13ª vez que usamos Bot.8 para lavar)									
700	100	1	142,857143	1	480	68,57142857	31,42857143	15,23809524	15,23810
				2	580	82,85714286	17,14285714		
				3	610	87,14285714	12,85714286		
				4	630	90	10		
				5	590	84,28571429	15,71428571		
18* LAVADO (100mL de HCl 14ª vez que usamos Bot.8 para lavar)									
700	100	1	142,857143	1	370	52,85714286	47,14285714	31,9047619	31,90476
				2	410	58,57142857	41,42857143		
				3	520	74,28571429	25,71428571		
				4	500	71,42857143	28,57142857		
				5	530	75,71428571	24,28571429		
19* LAVADO (100mL de HCl 15ª vez que usamos Bot.8 para lavar)									
700	100	1	142,857143	1	490	70	30	25,23809524	25,23810
				2	530	75,71428571	24,28571429		
				3	550	78,57142857	21,42857143		
				4	520	74,28571429	25,71428571		
				5	520	74,28571429	25,71428571		
20* LAVADO (100mL de HCl 16ª vez que usamos Bot.8 para lavar)									
1150	100	1	86,9565217	1	660	57,39130435	42,60869565	35,36231884	35,36232
				2	720	62,60869565	37,39130435		
				3	770	66,95652174	33,04347826		
				4	740	64,34782609	35,65217391		
				5	780	67,82608696	32,17391304		
26* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 17ª vez que usamos Bot.8 para lavar)									
1150	100	2	86,9565217	1	600	52,17391304	47,82608696	37,68115942	37,68116
				2	700	60,86956522	39,13043478		
				3	720	62,60869565	37,39130435		
				4	730	63,47826087	36,52173913		
				5	730	63,47826087	36,52173913		

Tabla 9.1. Tabla Excel con datos recogidos durante la segunda parte del proyecto.

27* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 18* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
1150	100	2	86,9565217	1	620	53,91304348	46,08695652	38,55072464	38,55072
				2	680	59,13043478	40,86956522		
				3	720	62,60869565	37,39130435		
				4	730	63,47826087	36,52173913		
				5	720	62,60869565	37,39130435		
28* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 19* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
1150	100	2	86,9565217	1	610	53,04347826	46,95652174	42,89855072	42,89855
				2	650	56,52173913	43,47826087		
				3	670	58,26086957	41,73913043		
				4	680	59,13043478	40,86956522		
				5	650	56,52173913	43,47826087		
29* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 20* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
1150	100	2	86,9565217	1	610	53,04347826	46,95652174	41,44927536	41,44928
				2	660	57,39130435	42,60869565		
				3	670	58,26086957	41,73913043		
				4	700	60,86956522	39,13043478		
				5	690	60	40		
21* LAVADO (100mL de HCl 21* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
1150	100	1	86,9565217	1	620	53,91304348	46,08695652	42,02898551	42,02899
				2	650	56,52173913	43,47826087		
				3	670	58,26086957	41,73913043		
				4	680	59,13043478	40,86956522		
				5	700	60,86956522	39,13043478		
30* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 22* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
840	100	2	119,047619	1	430	51,19047619	48,80952381	48,41268441	48,41270
				2	440	52,38095238	47,61904762		
				3	450	53,57142857	46,42857143		
				4	430	51,19047619	48,80952381		
				5	420	50	50		
31* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 23* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
840	100	2	119,047619	1	410	48,80952381	51,19047619	46,42857143	46,42857
				2	430	51,19047619	48,80952381		
				3	450	53,57142857	46,42857143		
				4	470	55,95238095	44,04761905		
				5	470	55,95238095	44,04761905		
32* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 24* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
840	100	2	119,047619	1	370	44,04761905	55,95238095	47,61904762	47,61905
				2	410	48,80952381	51,19047619		
				3	440	52,38095238	47,61904762		
				4	470	55,95238095	44,04761905		
				5	470	55,95238095	44,04761905		
33* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 25* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
840	100	2	119,047619	1	400	47,61904762	52,38095238	43,65079365	43,65079
				2	470	55,95238095	44,04761905		
				3	480	57,14285714	42,85714286		
				4	470	55,95238095	44,04761905		
				5	480	57,14285714	42,85714286		
34* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 26* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
840	100	2	119,047619	1	400	47,61904762	52,38095238	48,01587302	48,01587
				2	430	51,19047619	48,80952381		
				3	450	53,57142857	46,42857143		
				4	440	52,38095238	47,61904762		
				5	440	52,38095238	47,61904762		

Tabla 9.2. Tabla Excel con datos recogidos durante la segunda parte del proyecto (2).

35* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 27* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
840	100	2	119,047619	1	410	48,80952381	51,19047619	43,65079365	43,65079
				2	460	54,76190476	45,23809524		
				3	490	57,14285714	42,85714286		
				4	480	57,14285714	42,85714286		
				5	480	57,14285714	42,85714286		
36* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 28* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
930	100	2	107,526882	1	520	55,91397849	44,08602151	33,69175627	33,69176
				2	600	64,51612903	35,48387097		
				3	620	66,66666667	33,33333333		
				4	650	69,89247312	30,10752688		
				5	630	67,74193548	32,25806452		
37* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 29* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
930	100	2	107,526882	1	580	62,3655914	37,6344086	34,40860215	34,40860
				2	640	68,8172043	31,1827957		
				3	620	66,66666667	33,33333333		
				4	610	65,59139785	34,40860215		
				5	600	64,51612903	35,48387097		
38* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 30* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
930	100	2	107,526882	1	570	61,29032258	38,70967742	26,16487455	26,16487
				2	680	73,1827957	26,88172043		
				3	690	73,1827957	26,88172043		
				4	740	79,56989247	20,43010753		
				5	700	75,2688172	24,7311828		
39* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 31* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
930	100	2	107,526882	1	610	65,59139785	34,40860215	28,31541219	28,31541
				2	650	69,89247312	30,10752688		
				3	660	70,96774194	29,03225806		
				4	690	74,19354839	25,80645161		
				5	700	75,2688172	24,7311828		
40* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 32* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
930	100	2	107,526882	1	590	63,44086022	36,55913978	31,89964158	31,89964
				2	640	68,8172043	31,1827957		
				3	630	67,74193548	32,25806452		
				4	630	67,74193548	32,25806452		
				5	640	68,8172043	31,1827957		
41* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 33* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
930	100	2	107,526882	1	560	60,21505376	39,78494624	29,74910394	29,74910
				2	640	68,8172043	31,1827957		
				3	660	70,96774194	29,03225806		
				4	660	70,96774194	29,03225806		
				5	660	70,96774194	29,03225806		
42* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 34* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
930	100	2	107,526882	1	610	65,59139785	34,40860215	24,7311828	24,73118
				2	680	73,1827957	26,88172043		
				3	710	76,34408602	23,65591398		
				4	710	76,34408602	23,65591398		
				5	730	78,49462366	21,50537634		
43* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 35* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
930	100	2	107,526882	1	580	62,3655914	37,6344086	29,74910394	29,74910
				2	640	68,8172043	31,1827957		
				3	670	72,04301075	27,95698925		
				4	650	69,89247312	30,10752688		
				5	670	72,04301075	27,95698925		

Tabla 9.3. Tabla Excel con datos recogidos durante la segunda parte del proyecto (3).

44* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 36* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
930	100	2	107,526882	1	570	61,29032258	38,70967742	30,46594982	30,46595
				2	610	65,59139785	34,40860215		
				3	660	70,96774194	29,03225806		
				4	700	75,2688172	24,7311828		
				5	670	72,04301075	27,95698925		
45* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 37* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
900	100	2	111,111111	1	580	64,44444444	35,55555556	31,11111111	31,11111
				2	640	71,11111111	28,88888889		
				3	630	70	30		
				4	620	68,88888889	31,11111111		
				5	610	67,77777778	32,22222222		
46* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 38* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
900	100	2	111,111111	1	550	61,11111111	38,88888889	28,14814815	28,14815
				2	640	71,11111111	28,88888889		
				3	660	73,33333333	26,66666667		
				4	660	73,33333333	26,66666667		
				5	640	71,11111111	28,88888889		
47* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 39* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
900	100	2	111,111111	1	580	64,44444444	35,55555556	27,77777778	27,77778
				2	620	68,88888889	31,11111111		
				3	660	73,33333333	26,66666667		
				4	670	74,44444444	25,55555556		
				5	670	74,44444444	25,55555556		
48* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 40* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
900	100	2	111,111111	1	590	65,55555556	34,44444444	26,2962963	26,29630
				2	630	70	30		
				3	690	76,66666667	23,33333333		
				4	700	77,77777778	22,22222222		
				5	670	74,44444444	25,55555556		
49* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 41* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
900	100	2	111,111111	1	630	70	30	25,92592593	25,92593
				2	650	72,22222222	27,77777778		
				3	670	74,44444444	25,55555556		
				4	680	75,55555556	24,44444444		
				5	700	77,77777778	22,22222222		
50* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 42* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
900	100	2	111,111111	1	590	65,55555556	34,44444444	27,77777778	27,77778
				2	630	70	30		
				3	650	72,22222222	27,77777778		
				4	670	74,44444444	25,55555556		
				5	700	77,77777778	22,22222222		
51* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 43* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
900	100	2	111,111111	1	570	63,33333333	36,66666667	28,51851852	28,51852
				2	640	71,11111111	28,88888889		
				3	640	71,11111111	28,88888889		
				4	650	72,22222222	27,77777778		
				5	660	73,33333333	26,66666667		
52* LAVADO (MF2) (100mL de HCl 44* vez que usamos Bot.8 para lavar)									
900	100	2	111,111111	1	580	64,44444444	35,55555556	28,14814815	28,14815
				2	650	72,22222222	27,77777778		
				3	650	72,22222222	27,77777778		
				4	660	73,33333333	26,66666667		
				5	640	71,11111111	28,88888889		

Tabla 9.4. Tabla Excel con datos recogidos durante la segunda parte del proyecto (4).

MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
900	100	2	111,111111	1	640	71,11111111	28,88888889	22,96296296	22,96296
				2	720	80	20		
				3	710	78,88888889	21,11111111		
				4	690	76,66666667	23,33333333		
				5	680	75,55555556	24,44444444		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
900	100	2	111,111111	1	620	68,88888889	31,11111111	29,62962963	29,62963
				2	650	72,22222222	27,77777778		
				3	650	72,22222222	27,77777778		
				4	630	70	30		
				5	610	67,77777778	32,22222222		

Tabla 9.5. Tabla Excel con datos recogidos durante la segunda parte del proyecto (5).

De igual manera, se adjuntará también las tablas correspondientes a la primera parte de este trabajo, ya que es importante conocer los datos recogidos previamente

acerca del medio adsorbente para entender algunas de las afirmaciones que se han hecho en apartados previos.

DISUOLUCION MADRE (PPM)	PPM	MEDIO FILTRANTE	MML	MEDIDA	PPM (NITRATOMETRO)/L	PPM (NITRATOMETRO)/ML	PPM REDUCIDAS	MEDIA (PPM)	PORCENTAJES (%)
680	100	1	147,058824	1	350	51,47058824	48,52941176	43,62745098	43,62745098
				2	390	55,88235294	44,11764706		
				3	370	54,41176471	45,58823529		
				4	400	58,82352941	41,17647059		
				5	440	64,70588235	35,29411765		
680	101	1	148,529412	1	520	77,23529412	23,76470588	10,39705882	10,29411765
				2	590	87,63235294	13,36764706		
				3	610	90,60234118	10,39705882		
				4	640	95,05882353	5,941176471		
				5	630	93,57352941	7,426470588		
LAVADO (100mL de HCl)									
670	101	2	150,746269	1	400	60,29850746	40,70149254	40,70149254	40,29850746
				2	400	60,29850746	40,70149254		
				3	410	61,80597015	39,19402985		
				4	400	60,29850746	40,70149254		
				5	400	60,29850746	40,70149254		
670	102	2	152,238806	1	480	73,07462687	28,92537313	22,32835821	21,89054726
				2	510	77,64179104	24,35820896		
				3	520	79,1641791	22,8358209		
				4	540	82,20895522	19,79104478		
				5	560	85,25373134	16,74626866		
670	103	2	153,731343	1	480	73,79104478	29,20895522	24,08457711	23,38308458
				2	510	78,40298507	24,59701493		
				3	520	79,94029851	23,05970149		
				4	510	78,40298507	24,59701493		
				5	520	79,94029851	23,05970149		
670	104	2	155,223881	1	490	76,05970149	27,94029851	27,42288557	26,3681592
				2	490	76,05970149	27,94029851		
				3	490	74,50746269	29,49253731		
				4	500	77,6119403	26,3880597		
				5	520	80,71641791	23,28358209		
670	105	2	156,716418	1	450	70,52238806	34,47761194	29,7761194	28,35820896
				2	480	75,2238806	29,7761194		
				3	480	75,2238806	29,7761194		
				4	480	75,2238806	29,7761194		
				5	490	76,79104478	28,20895522		
670	106	2	158,208955	1	420	66,44776119	39,55223881	33,75124378	31,84079602
				2	450	71,19402985	34,80597015		
				3	460	72,7761194	33,2238806		
				4	460	72,7761194	33,2238806		
				5	470	74,35820896	31,64179104		
LAVADO (100mL de HCl)									
640	107	2	167,1875	1	460	76,90625	30,09375	28,97916667	27,08333333
				2	470	78,578125	28,421875		
				3	460	76,90625	30,09375		
				4	470	78,578125	28,421875		
				5	470	78,578125	28,421875		
LAVADO (100mL de HCl)									
800	108	2	135	1	390	52,65	55,35	51,3	47,5
				2	410	55,35	52,65		
				3	430	58,05	49,95		
				4	420	56,7	51,3		
				5	430	58,05	49,95		

Tabla 9.6. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto.

800	109	2	136,25	1	590	80,3875	28,6125	27,25	25
				2	590	80,3875	28,6125		
				3	590	80,3875	28,6125		
				4	620	84,475	24,525		
				5	620	84,475	24,525		
800	110	2	137,5	1	580	79,75	30,25	24,29166667	22,08333333
				2	620	85,25	24,75		
				3	610	83,875	26,125		
				4	640	88	22		
				5	650	89,375	20,625		
LAVADO (100mL de HCl)									
800	111	2	138,75	1	350	48,5625	62,4375	56,425	50,83333333
				2	380	52,725	58,275		
				3	400	55,5	55,5		
				4	400	55,5	55,5		
				5	400	55,5	55,5		
800	112	2	140	1	560	78,4	33,6	31,26666667	27,91666667
				2	570	79,8	32,2		
				3	580	81,2	30,8		
				4	590	82,6	29,4		
				5	580	81,2	30,8		
800	113	2	141,25	1	640	90,4	22,6	19,775	17,5
				2	650	91,825	21,1875		
				3	660	93,225	19,775		
				4	670	94,6375	18,3625		
				5	670	94,6375	18,3625		
LAVADO (100mL de HCl)									
740	114	2	154,054054	1	420	64,7027027	49,2972973	46,72972973	40,99099099
				2	430	66,24324324	47,75675676		
				3	440	67,78378378	46,21621622		
				4	440	67,78378378	46,21621622		
				5	450	69,32432432	44,67567568		
LAVADO (100mL de HCl)									
740	115	2	155,405405	1	440	68,37837838	46,62162162	39,88738739	34,68468468
				2	480	74,59459459	40,40540541		
				3	480	74,59459459	40,40540541		
				4	490	76,14864865	38,85135135		
				5	500	77,7027027	37,2972973		
LAVADO (100mL de HCl)									
740	116	2	156,756757	1	450	70,54054054	45,45945946	39,71171171	34,23423423
				2	480	75,24324324	40,75675676		
				3	480	75,24324324	40,75675676		
				4	500	78,37837838	37,62162162		
				5	510	79,94594595	36,05405405		
LAVADO (100mL de HCl)									
895	117	2	130,726257	1	430	56,2122905	60,7877095	51,63687151	44,13407821
				2	480	62,74860335	54,25139665		
				3	500	65,36312849	51,63687151		
				4	520	67,97765363	49,02234637		
				5	530	69,2849162	47,7150838		

Tabla 9.7. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (2).

895	118	2	131,843575	1	620	81,74301676	36,25698324	24,39106145	20,67039106
				2	700	92,29050279	25,70949721		
				3	700	92,29050279	25,70949721		
				4	730	96,24581006	21,75418994		
				5	740	97,56424581	20,43575419		
LAVADO (100mL de HCl)									
895	119	2	132,960894	1	420	55,84357542	63,15642458	50,74674115	42,6443203
				2	490	65,15083799	53,84916201		
				3	510	67,81005587	51,18994413		
				4	540	71,79888268	47,20111732		
				5	540	71,79888268	47,20111732		
895	120	2	134,078212	1	700	93,8547486	26,1452514	22,5698324	18,80819367
				2	730	97,87709497	22,12290503		
				3	720	96,53631285	23,46368715		
				4	730	97,87709497	22,12290503		
				5	750	100,5586592	19,44134078		
LAVADO (100mL de HCl)									
680	121	2	177,941176	1	430	76,51470588	44,48529412	32,62254902	26,96078431
				2	490	87,1917647	33,80882353		
				3	490	87,1917647	33,80882353		
				4	510	90,75	30,25		
				5	520	92,52941176	28,47058824		
LAVADO (100mL de HCl)									
700	122	2	174,285714	1	460	80,17142857	41,82857143	30,79047619	25,23809524
				2	520	90,62857143	31,37142857		
				3	530	92,37142857	29,62857143		
				4	520	90,62857143	31,37142857		
				5	550	95,85714286	28,14285714		
LAVADO (100mL de HCl)									
700	123	2	175,714286	1	430	75,55714286	47,44285714	34,55714286	28,0952381
				2	480	84,34285714	38,65714286		
				3	510	89,61428571	33,38571429		
				4	520	91,37142857	31,62857143		
				5	520	91,37142857	31,62857143		
LAVADO (100mL de HCl)									
700	124	2	177,142857	1	460	81,48571429	42,51428571	34,24761905	27,61904762
				2	480	85,02857143	38,97142857		
				3	510	90,34285714	33,65714286		
				4	530	93,88571429	30,11428571		
				5	540	95,65714286	28,34285714		
LAVADO (100mL de HCl)									
700	125	2	178,571429	1	480	85,71428571	39,28571429	28,57142857	22,85714286
				2	540	96,42857143	28,57142857		
				3	540	96,42857143	28,57142857		
				4	540	96,42857143	28,57142857		
				5	550	98,21428571	26,78571429		

Tabla 9.8. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (3).

LAVADO (100mL de HCl)									
700	126	2	180	1	420	75,6	50,4	32,4	25,71428571
				2	500	90	36		
				3	530	95,4	30,6		
				4	530	95,4	30,6		
				5	540	97,2	28,8		
LAVADO (100mL de HCl)									
870	127	2	145,977011	1	510	74,44827586	52,55172414	43,30651341	34,09961686
				2	560	81,74712644	45,25287356		
				3	580	84,66666667	42,33333333		
				4	580	84,66666667	42,33333333		
				5	580	84,66666667	42,33333333		
LAVADO (100mL de HCl)									
870	128	2	147,126437	1	480	70,62068966	57,37931034	46,09961686	36,01532567
				2	540	79,44827586	48,55172414		
				3	560	82,3908046	45,6091954		
				4	580	85,33333333	42,66666667		
				5	570	83,86206897	44,13793103		
LAVADO (100mL de HCl)									
780	129	2	165,384615	1	510	84,34615385	44,65384615	31,97435897	24,78632479
				2	580	95,92307692	33,07692308		
				3	580	95,92307692	33,07692308		
				4	600	99,23076923	29,76923077		
				5	610	100,8846154	28,16538462		
LAVADO (100mL de HCl)									
780	130	2	166,666667	1	550	91,66666667	38,33333333	27,77777778	21,36752137
				2	600	100	30		
				3	610	101,66666667	28,33333333		
				4	630	105	25		
				5	630	105	25		
LAVADO (100mL de HCl)									
860	131	2	152,325581	1	510	77,68604651	53,31395349	47,72868217	36,43410853
				2	530	80,73255814	50,26744186		
				3	550	83,77908977	47,22093023		
				4	560	85,30232558	45,69767442		
				5	560	85,30232558	45,69767442		
LAVADO (100mL de HCl)									
860	132	2	153,488372	1	450	69,08976744	62,93023256	54,23255814	41,08527132
				2	500	76,7448605	55,2581395		
				3	510	78,27908977	53,72093023		
				4	520	79,81395349	52,18604651		
				5	510	78,27908977	53,72093023		
LAVADO (100mL de HCl)									
860	133	2	154,651163	1	400	61,86046512	71,13953488	63,92248062	48,0620155
				2	440	68,04651163	64,95348837		
				3	450	69,59302326	63,40697674		
				4	450	69,59302326	63,40697674		
				5	460	71,13953488	61,86046512		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
860	134	2	155,813953	1	540	84,13953488	49,86046512	44,14728682	32,94573643
				2	560	87,25581395	46,7448605		
				3	580	90,37209302	43,62790698		
				4	590	91,93023256	42,06976744		
				5	610	95,04651163	38,95348837		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
860	135	2	156,976744	1	550	86,3372093	48,6627907	39,76744186	29,45736434
				2	600	94,18604651	40,81395349		
				3	610	95,7581395	39,2448605		
				4	610	95,7581395	39,2448605		
				5	620	97,3255814	37,6744186		
LAVADO (100mL de HCl)									
840	136	2	161,904762	1	510	82,57142857	53,42857143	50,73015873	37,3015873
				2	520	84,19047619	51,80952381		
				3	540	87,42857143	48,57142857		
				4	530	85,80952381	50,19047619		
				5	530	85,80952381	50,19047619		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
720	137	2	190,277778	1	510	97,04666667	39,95833333	24,73611111	18,05555556
				2	580	110,3611111	26,63888889		
				3	590	112,2638889	24,73611111		
				4	600	114,1666667	22,83333333		
				5	600	114,1666667	22,83333333		
LAVADO (100mL de HCl)									
720	138	2	191,666667	1	480	86,25	51,75	36,41666667	26,38888889
				2	520	99,66666667	38,33333333		
				3	530	101,5833333	36,41666667		
				4	540	103,5	34,5		
				5	540	103,5	34,5		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
930	139	2	149,462366	1	710	106,182796	32,88172043	28,89056735	20,78853047
				2	740	110,6021605	28,39784946		
				3	740	110,6021605	28,39784946		
				4	740	110,6021605	28,39784946		
				5	730	109,1075269	29,89247312		
LAVADO (100mL de HCl)									
930	140	2	150,537634	1	500	75,2688172	64,7311828	58,70967742	41,93548387
				2	530	79,78494624	60,21505376		
				3	540	81,29032258	58,70967742		
				4	550	82,79569892	57,20430108		
				5	730	109,8924731	30,10752688		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
930	141	2	151,612903	1	630	95,51612903	45,48387097	38,91397849	27,59856631
				2	670	101,5806452	39,41935484		
				3	670	101,5806452	39,41935484		
				4	680	103,0967742	37,90322581		
				5	680	103,0967742	37,90322581		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
930	142	2	152,688172	1	680	100,7741935	41,22580645	34,10035842	24,01433692
				2	690	105,3548387	36,64516129		
				3	720	109,9354839	32,06451613		
				4	720	109,9354839	32,06451613		
				5	710	108,4086022	33,59139785		

Tabla 9.9. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (4).

MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
930	143	2	153,763441	1	620	95,33333333	47,66666667	41,00358423	28,67383513
				2	660	101,483871	41,51612903		
				3	670	103,0215054	39,97849462		
				4	690	106,0967742	36,90322581		
				5	660	101,483871	41,51612903		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
930	144	2	154,83871	1	640	99,09677419	44,90322581	35,09677419	24,37275986
				2	710	109,9354839	34,06451613		
				3	710	109,9354839	34,06451613		
				4	710	109,9354839	34,06451613		
				5	690	106,8387097	37,16129032		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
1000	145	2	145	1	650	94,25	50,75	42,05	29
				2	690	100,05	44,95		
				3	720	104,4	40,6		
				4	740	107,3	37,7		
				5	720	104,4	40,6		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
1000	146	2	146	1	710	103,66	42,34	37,47333333	25,66666667
				2	740	108,04	37,96		
				3	750	109,5	36,5		
				4	740	108,04	37,96		
				5	750	109,5	36,5		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
1000	147	2	147	1	710	104,37	42,63	41,85	28,33333333
				2	750	110,25	36,75		
				3	710	104,37	42,63		
				4	730	107,31	39,69		
				5	680	99,96	47,04		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
1000	148	2	148	1	630	93,24	54,76	42,92	29
				2	700	103,6	44,4		
				3	710	105,08	42,92		
				4	720	106,56	41,44		
				5	730	108,04	39,96		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
1000	149	2	149	1	620	92,38	56,62	41,22333333	27,66666667
				2	710	105,79	43,21		
				3	740	110,26	38,74		
				4	740	110,26	38,74		
				5	720	107,28	41,72		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
1000	150	2	150	1	640	96	54	38,5	25,66666667
				2	720	108	42		
				3	750	112,5	37,5		
				4	760	114	36		
				5	770	115,5	34,5		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
640	25	1	39,0625	1	130	5,078125	19,921875	20,703125	82,8125
				2	110	4,296875	20,703125		
				3	110	4,296875	20,703125		
				4	110	4,296875	20,703125		
				5	110	4,296875	20,703125		

Tabla 9.10. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (5).

640	30	1	46,875	1	210	9,84375	20,15625	20,3125	67,70833
				2	210	9,84375	20,15625		
				3	210	9,84375	20,15625		
				4	200	9,375	20,625		
				5	200	9,375	20,625		
640	35	1	54,6875	1	270	14,765625	20,234375	20,59895833	58,85417
				2	280	15,3125	19,6875		
				3	250	13,671875	21,328125		
				4	260	14,21875	20,78125		
				5	260	14,21875	20,78125		
640	40	1	62,5	1	370	23,125	16,875	15,83333333	39,58333
				2	380	23,75	16,25		
				3	400	25	15		
				4	390	24,375	15,625		
				5	390	24,375	15,625		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
640	45	1	70,3125	1	220	15,46875	29,53125	28,125	62,5
				2	240	16,875	28,125		
				3	240	16,875	28,125		
				4	240	16,875	28,125		
				5	250	17,578125	27,421875		
640	50	1	78,125	1	460	35,9375	14,0625	8,333333333	16,66667
				2	510	39,84375	10,15625		
				3	530	41,40625	8,59375		
				4	560	43,75	6,25		
				5	560	43,75	6,25		
2° LAVADO (100mL de HCl)									
640	55	1	85,9375	1	98	8,421875	46,578125	46,40625	84,37500
				2	100	8,59375	46,40625		
				3	100	8,59375	46,40625		
				4	100	8,59375	46,40625		
				5	100	8,59375	46,40625		
640	60	1	93,75	1	170	15,9375	44,0625	42,5	70,83333
				2	180	16,875	43,125		
				3	190	17,8125	42,1875		
				4	190	17,8125	42,1875		
				5	190	17,8125	42,1875		
640	65	1	101,5625	1	290	29,453125	35,546875	33,85416667	52,08333
				2	310	31,484375	33,515625		
				3	310	31,484375	33,515625		
				4	300	30,46875	34,53125		
				5	310	31,484375	33,515625		

Tabla 9.11. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (6).

640	70	1	109,375	1	410	44,84375	25,16625	18,53375	26,56250
				2	450	49,21875	20,78125		
				3	480	52,5	17,5		
				4	480	52,5	17,5		
				5	480	52,5	17,5		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
640	75	1	117,1875	1	440	51,5625	23,4375	22,265625	29,68750
				2	440	51,5625	23,4375		
				3	450	52,734375	22,265625		
				4	460	53,90625	21,09375		
				5	470	55,078125	19,921875		
3° LAVADO (100mL de HCl 2° vez que usamos Bot.4 para lavar)									
820	80	1	97,5609756	1	140	13,85853653	66,34146341	66,01626016	82,52033
				2	140	13,85853653	66,34146341		
				3	140	13,85853653	66,34146341		
				4	150	14,63414634	65,36585366		
				5	160	15,6097561	64,3902439		
820	81	1	98,7904878	1	340	33,58536585	47,41463415	44,7804878	55,28455
				2	360	35,56097561	45,43902439		
				3	370	36,54878049	44,45121951		
				4	370	36,54878049	44,45121951		
				5	370	36,54878049	44,45121951		
820	82	1	100	1	630	63	19	11	13,41463
				2	690	69	13		
				3	710	71	11		
				4	730	73	9		
				5	730	73	9		
4° LAVADO (100mL de HCl 3° vez que usamos Bot.4 para lavar)									
820	83	1	101,219512	1	260	26,31707317	56,68292683	56,00813008	67,47967
				2	260	26,31707317	56,68292683		
				3	260	26,31707317	56,68292683		
				4	280	28,34146341	54,65853653		
				5	290	29,36365854	53,64634146		
820	84	1	102,439024	1	590	60,43902439	23,56097561	12,97560976	15,44715
				2	680	69,65853653	14,34146341		
				3	700	71,70731707	12,29268293		
				4	700	71,70731707	12,29268293		
				5	730	74,7804878	9,219512195		
5° LAVADO (100mL de HCl 2° vez que usamos Bot.8 para lavar)									
820	85	1	103,658537	1	140	14,51219512	70,48780488	68,7601626	80,89431
				2	160	15,54878049	69,45121951		
				3	160	16,58536585	68,41463415		
				4	160	16,58536585	68,41463415		
				5	160	16,58536585	68,41463415		
820	86	1	104,878049	1	290	30,41463415	55,58536585	52,08943089	60,56911
				2	310	32,51219512	53,48780488		
				3	330	34,6097561	51,3902439		
				4	330	34,6097561	51,3902439		
				5	340	35,65853653	50,34146341		
820	87	1	106,097561	1	620	65,7804878	21,2195122	15,91463415	18,29268
				2	670	71,08536585	15,91463415		
				3	660	70,02439024	16,97560976		
				4	680	72,14634146	14,85365854		
				5	690	73,20731707	13,79268293		

Tabla 9.12. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (7).

820	88	1	107,317073	6° LAVADO (100mL de HCl 3° vez que usamos Bot.8 para lavar)					52,58536585	59,75610
				1	310	33,26829268	54,73170732			
				2	310	33,26829268	54,73170732			
				3	340	36,48780488	51,51219512			
				4	340	36,48780488	51,51219512			
880	89	1	101,136364	7° LAVADO (100mL de HCl 4° vez que usamos Bot.8 para lavar)					37,42045455	42,04545
				1	480	48,54545455	40,45454545			
				2	510	51,57954545	37,42045455			
				3	510	51,57954545	37,42045455			
				4	510	51,57954545	37,42045455			
880	90	2	102,272727	25° LAVADO (MF2) (100mL de HCl 5° vez que usamos Bot.8 para lavar)					22,15909091	24,62121
				1	630	64,43181818	25,56818182			
				2	650	66,47727273	23,52272727			
				3	650	66,47727273	23,52272727			
				4	690	70,56818182	19,43181818			
880	91	2	103,409091	8° LAVADO (100mL de HCl 6° vez que usamos Bot.8 para lavar)					47,22348485	51,89394
				1	410	42,39772727	48,60227273			
				2	420	43,43181818	47,56818182			
				3	430	44,46590909	46,53409091			
				4	420	43,43181818	47,56818182			
880	92	1	104,545455	MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)					18,81818182	20,45455
				1	630	65,86363636	26,13636364			
				2	670	70,04545455	21,95454545			
				3	710	74,22727273	17,77272727			
				4	720	75,27272727	16,72727273			
880	93	1	105,681818	9° LAVADO (100mL de HCl 7° vez que usamos Bot.8 para lavar)					40,15909091	43,18182
				1	470	49,67045455	43,32954545			
				2	490	51,78409091	41,21590909			
				3	500	52,84090909	40,15909091			
				4	510	53,89772727	39,10227273			
880	94	1	106,818182	MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)					23,14393939	24,62121
				1	490	52,34090909	41,65909091			
				2	640	68,36363636	25,63636364			
				3	650	69,43181818	24,56818182			
				4	700	74,77272727	19,22727273			
880	95	1	107,954545	10° LAVADO (100mL de HCl 8° vez que usamos Bot.8 para lavar)					41,74242424	43,93939
				1	450	48,57954545	46,42045455			
				2	460	49,65909091	45,34090909			
				3	500	53,97727273	41,02272727			
				4	520	56,13636364	38,86363636			
5	540	58,29545455	36,70454545							

Tabla 9.13. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (8).

MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
880	96	1	109,090909	1	640	69,81818182	26,18181818	17,09090909	17,80303
				2	670	73,09090909	22,90909091		
				3	750	81,81818182	14,18181818		
				4	770	84	12		
				5	750	81,81818182	14,18181818		
11* LAVADO (100mL de HCl 9ª vez que usamos Bot.8 para lavar)									
880	97	1	110,227273	1	520	57,31818182	39,68181818	33,8030303	34,84848
				2	580	61,72727273	35,27272727		
				3	560	61,72727273	35,27272727		
				4	600	66,13636364	30,86363636		
				5	630	69,44318182	27,55681818		
12* LAVADO (100mL de HCl 10ª vez que usamos Bot.8 para lavar)									
1150	98	1	85,2173913	1	520	44,31304348	53,68695652	44,59710145	45,50725
				2	610	51,9826087	46,0173913		
				3	620	52,83478261	45,16521739		
				4	660	56,24347826	41,75652174		
				5	650	55,39130435	42,60869565		
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
MINI LAVADO (150 mL AGUA DESTILADA)									
1150	99	1	86,0869565	1	700	60,26086957	38,73913043	32,13913043	32,46377
				2	740	63,70434783	35,29555217		
				3	800	68,86956522	30,13043478		
				4	790	68,08695655	30,99130435		
				5	830	71,45217391	27,54782609		
13* LAVADO (100mL de HCl 11ª vez que usamos Bot.8 para lavar)									

Tabla 9.14. Tabla Excel con datos recogidos durante la primera parte del proyecto (9).

En la estación experimental agroalimentaria 'Tomás Ferro' se encuentran disponibles dos plantas de cara al desarrollo de este proyecto.

La primera de ellas está formada por tres columnas verticales que cuentan con crepinas interiores. Consta de valvulería, accesorios y elementos auxiliares para válvulas, fontanería, y un depósito que será utilizado para almacenar el ácido, cuenta con dos bombas de impulsión, una destinada a la impulsión de agua mientras que la otra se utilizará para la impulsión de ácido.

Además de esto, contiene dos tanques de entrada y de salida, la capacidad de ambos es de un metro cúbico.

El coste de los depósitos de entrada y de salida, junto con los accesorios y elementos auxiliares para válvulas resultó en un total de 1.230,00€ más el coste adicional correspondiente al IVA.

El resto del equipo que contiene el bastidor, manómetros, columnas, crepinas, bombas, etc, tuvo un coste adicional de 15.000,00€ más el coste adicional correspondiente al IVA.

La segunda planta de la que se dispone en la estación de 'Tomás Ferro' cuenta con una mayor tecnología, no obstante, es utilizada para el tratamiento de un caudal menor. Consta de un autómatas cuya función es abrir y cerrar de forma directa las válvulas correspondientes al agua y al ácido para poder realizar una regeneración de manera automática. De igual forma, cuenta con una pantalla LCD.

Únicamente se colocó un filtro debido a las necesidades del cliente, ya que éste necesitaba tratar un caudal más pequeño. Dicho esto, se colocó un filtro en lugar de una

columna ya que el filtro presenta un mayor diámetro de forma que permite que el medio adsorbente pueda expandirse con una mayor libertad y así lograr que no haya, o existan las mínimas pérdidas del medio. En el interior del filtro se encuentran una serie de crepinas interiores.

Al igual que en la planta descrita previamente, esta planta también cuenta con elementos de valvulería, fontanería y un depósito en el que se guardará el ácido. Contará además con una bomba destinada a la impulsión del agua y otra para la impulsión del ácido. Además, de un par de tanques de entrada y de salida de 1 metro cúbico de capacidad.

Finalmente, el coste en conjunto de este equipo fue de 17.980,00€ más el coste adicional que corresponde al IVA.

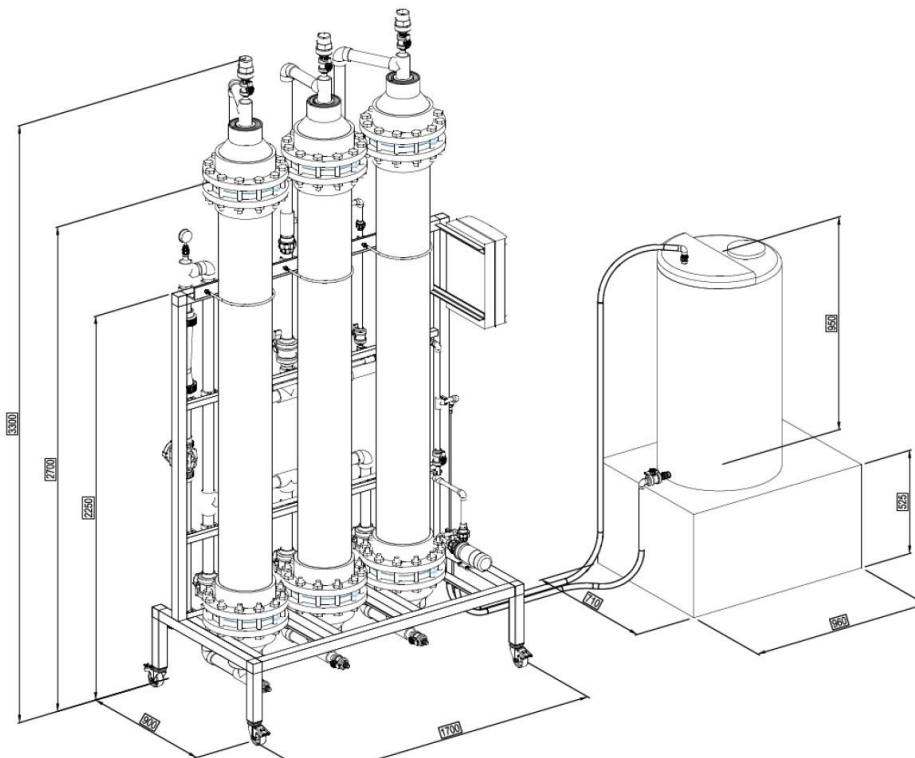


Figura 9.1. Esquema de la planta 1.

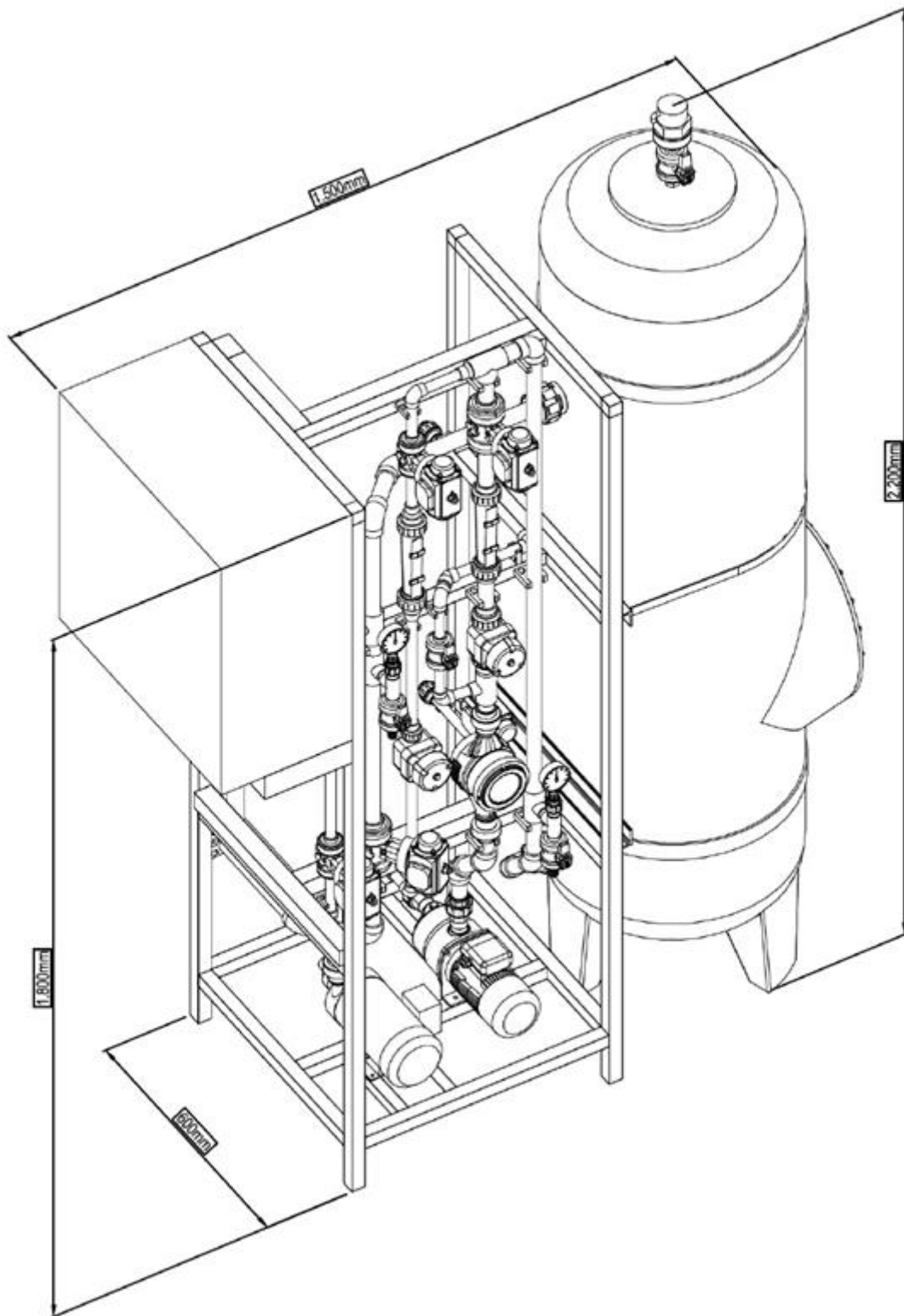


Figura 9.2. Esquema de la planta 2.

Nota: Debido a usar el ácido clorhídrico durante un periodo de tiempo bastante extenso, con el objetivo de quitar el antiincrustante que produce el proceso de ósmosis inversa a la desaladora, se ha estropeado una parte de esta planta, por tanto, en este proyecto no ha sido posible trabajar en ella.