



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

**REMOCIÓN DE UN CONTAMINANTE EMERGENTE EN AGUA
RESIDUAL SINTÉTICA CON ESPONJAS DE ALUMINIO**

T É S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERÍA QUÍMICA**

PRESENTA:

LUZ MARÍA CANO GABRIEL

**ASESOR INTERNO: DRA. MARÍA YESENIA DÍAZ CARDENAS
ASESOR EXTERNO: DRA. VICTORIA BUSTOS TERRONES**

Orgullosamente TESCo

RESUMEN

El presente resumen aborda la investigación sobre la remoción de un contaminante emergente presente en aguas residuales mediante el uso de esponjas de aluminio como material adsorbente.

Como tema principal, el problema de la contaminación del agua, específicamente en el contexto de aguas residuales. El objetivo de la investigación es evaluar la efectividad de utilizar esponjas de aluminio como un método de remoción para estos contaminantes.

La investigación se desarrolla a través de una serie de experimentos en los que se analiza la capacidad de las esponjas de aluminio para adsorber y eliminar el contaminante emergente presente en las aguas residuales. Se emplean diferentes condiciones de operación y se monitorean diversos parámetros para determinar la eficacia del proceso.

Los resultados obtenidos indican que las esponjas de aluminio podrían ser efectivas para la remoción del contaminante emergente en las aguas residuales. Se observa una alta capacidad de adsorción lo que sugiere que este método podría ser una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con este tipo de sustancias.

La investigación puede proporcionar información importante sobre el proceso de adsorción y los factores que influyen en la eficacia de las esponjas de aluminio como material de remoción de un contaminante emergente en aguas residuales.

La esponja de aluminio ha demostrado ser una opción prometedora para eliminar estos contaminantes de las aguas residuales.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia por su apoyo constante durante estos años.

A la Dra. María Yesenia Díaz Cárdenas, por darme la oportunidad de desarrollar este proyecto, por el tiempo dedicado y la orientación, por la motivación a querer aprender más y mejorar.

A todas mis amistades que estuvieron al pendiente apoyándome con mi proyecto.

Al Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco que es mi casa de estudios que me permitió acceder al microscopio metalúrgico invertido para obtener las imágenes.

A David Méndez por permitirme acceder al microscopio óptico multisensor 3D del laboratorio de mi actual trabajo para obtener las imágenes.

Muchas gracias a todos.

Luz María Cano Gabriel

ÍNDICE

RESUMEN	2
AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE	4
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
INTRODUCCIÓN	10
JUSTIFICACIÓN.....	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
ANTECEDENTES	15
OBJETIVOS.....	16
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS PARTICULARES	16
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
HIPÓTESIS DE TRABAJO	18
ALCANCES Y LIMITACIONES	19
Alcances	19
Limitaciones.....	19
MARCO TEÓRICO	20
Aguas residuales.....	20
Contaminantes emergentes.....	21
Técnicas de remoción de contaminantes emergentes.....	22
Tratamientos fisicoquímicos	22
Coagulación.....	23
Floculación.....	23
Ultrafiltración	23
Oxidación.....	24
Tratamientos biológicos.....	25
Lodos activados.....	25
Filtros de goteo biológico.....	25
Tratamientos avanzados.....	26
Oxidación fotocatalítica	26

Química de Fenton.....	27
Nanofiltración con membranas.....	27
Ósmosis inversa.....	28
Cefalexina.....	29
Mecanismo de acción.....	30
Clasificación.....	32
Estructura.....	33
Aluminio	33
Configuración electrónica.....	34
Usos y aplicaciones.....	35
Diagramas de Pourbaix.....	37
Corrosión de aleaciones de aluminio	38
Polarización electroquímica.....	39
Causas de la polarización:.....	39
Polarización Anódica:.....	40
Anodización.....	40
Proceso de anodización.....	40
Constante dieléctrica.....	41
Orbitales moleculares	42
Adsorción	44
Técnicas de caracterización química.....	45
Espectroscopia UV.....	45
Cromatografía en capa fina.....	48
Procedimiento	48
Visualización de las manchas.....	49
Cálculo del factor de retención R_f	50
Microscopía óptica.....	50
Componentes del Microscopio óptico:	50
Campo Oscuro.....	51
Contraste de Fases.....	51
Luz polarizada	52
Técnicas de Microscopía Óptica.....	52
Microscopia de Fluorescencia.....	52
Microscopía Confocal.....	53

Microscopia multifotón.....	53
Microscopía de fluorescencia por reflexión interna total (TIRFM).....	54
Transferencia de energía por resonancia fluorescente (FRET).....	54
FLIM, FRAP y FLIP	55
PROPUESTA DE SOLUCIÓN	57
DESARROLLO EXPERIMENTAL	58
Diagrama del experimento.....	58
MÉTODOS	60
Preparación de los materiales para la obtención de la superficie porosa de aluminio	60
Arreglo de la celda de trabajo para la elaboración de los poros en el electrodo de aluminio.	62
Tratamiento del agua residual sintética.....	63
Cromatografía en Capa Fina (TLC)	66
Espectroscopia de luz Ultravioleta	67
Micrografías ópticas.....	67
RESULTADOS.....	69
Obtención de las esponjas de aluminio.....	69
Pruebas electroquímicas para la remoción de CFX.	72
Comparación de las esponjas de aluminio antes y después del contacto con CFX	74
Análisis del agua residual después del tratamiento electroquímico.	76
CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	80
Recomendaciones y sugerencias para trabajos futuros.....	81
COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	89
Anexo I. Total de picaduras en probeta de Aluminio con NaCl.....	89
Anexo II. Total de picaduras en probeta de Aluminio con NaOH.....	90
Anexo III. Diámetros de picaduras en superficies de Aluminio con NaCl. Micrografías a 40 aumentos.....	94
Anexo IV. Diámetros de picaduras en superficies de Aluminio con NaOH. Micrografías a 40 aumentos.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las aguas residuales.	20
Figura 2. Estructura química de las Cefalosporinas.	30
Figura 3. Estructuras químicas de Cefalosporinas modeladas.	30
Figura 4. Mecanismo de inactivación de las cefalosporinas y las penicilinas por las enzimas bacterianas.....	31
Figura 5. Estructura básica de los diferentes grupos de betalactámicos.	32
Figura 6. Estructura de la CFX.	33
Figura 7: Estructura cristalina hexagonal del Aluminio.....	34
Figura 8. Imagen de la superficie de aluminio después del corte.....	35
Figura 9: Diagrama de Pourbaix para aluminio puro.	38
Figura 10. Ejemplo de gráfico HOMO (izquierda) y LUMO (derecha) de un compuesto.	43
Figura 11. Esquema que ilustra el adsorbente, el adsorbato y el adsortivo..	45
Figura 12. Representación gráfica del espectro electromagnético de la luz.	46
Figura 13. Ondas electromagnéticas.....	47
Figura 14. Representación gráfica de la metodología de este trabajo	58
Figura 15. Preparación de la solución 0.5 M de NaCl para la obtención de la superficie porosa de aluminio.....	60
Figura 16. Preparación de la solución 0.5 M de NaOH como electrolito para la obtención de la superficie porosa de aluminio.	61
Figura 17. Montaje de la celda utilizada para las pruebas electroquímicas...	62
Figura 18. Montaje de la celda utilizada para la prueba electroquímica.....	65
Figura 19. Prueba 1, placas cromatográficas de CFX.....	66
Figura 20. Prueba 2, placas cromatográficas de CFX.....	67
Figura 21. Superficie a simple vista del electrodo de aluminio.....	69
Figura 22. Aspecto final de la probeta de aluminio después del tratamiento por corrosión localizada con solución de NaOH.....	71
Figura 23. Aspecto final de la probeta de aluminio después del tratamiento por corrosión localizada con solución de NaCl.....	72
Figura 24. Esponja de aluminio generada en solución de NaOH.....	73
Figura 25. Esponja de aluminio generada en solución de NaCl.....	74
Figura 26. Comparación de la esponja de aluminio en NaCl.....	75

Figura 27. Comparación de la esponja de aluminio en NaOH.....	76
Figura 28. Placas cromatográficas (Hex:Me,8:2)	77
Figura 29. Espectro de luz UV comparativo de la CFX.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades del aluminio.....	36
--	----

INTRODUCCIÓN

A causa del amplio consumo de productos farmacéuticos en la sociedad, los podemos encontrar en las aguas residuales de las industrias. No todos los productos farmacéuticos son removidos lo suficiente con los sistemas actuales de tratamiento por lo que pueden estar presentes en los efluentes de las plantas de tratamiento, en distintos cuerpos de agua e incluso en el agua potable a muy bajas concentraciones (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012).

Debido a su capacidad para tratar enfermedades causadas por infecciones, los antibióticos se utilizan ampliamente para controlar enfermedades de humanos, animales y plantas. Sin embargo, una fracción significativa de estos antibióticos no se utiliza en el metabolismo y, por lo tanto, se excreta al medio ambiente. Como resultado, se ha descubierto que contaminan las aguas superficiales y subterráneas, estos pueden afectar negativamente a la salud al reducir la inmunidad humana. También representan una amenaza potencial para la sostenibilidad ambiental al afectar a otros organismos.

Es de suma importancia eliminar los residuos de antibióticos de las aguas residuales de fuentes tales como hogares, hospitales y fábricas de productos farmacéuticos antes de descargarlos al medio ambiente.

Las técnicas que se han utilizado comúnmente para la eliminación de antibióticos incluyen la ozonización, la coagulación, la degradación foto catalítica, el intercambio iónico, la separación de membrana líquida, la ósmosis inversa y la adsorción. Entre estas técnicas, se prefiere la adsorción debido a la simplicidad en el diseño, la facilidad de fabricación, la alta eficacia, el costo relativamente más bajo y la ausencia de subproductos altamente tóxicos.

Para sus aplicaciones prácticas a gran escala, un adsorbente debe ser física y químicamente estable, no tóxico, reciclable y fácilmente separable de la solución acuosa, además de tener una alta capacidad de adsorción.

La capacidad de adsorción depende de propiedades como el área superficial, la porosidad y el diámetro de los poros del adsorbente.

Como resultado, se han utilizado diferentes materiales en aplicaciones de remediación de agua, como la eliminación de tintes, aceites, solventes orgánicos, proteínas y metales pesados del agua.

El aumento del consumo de medicamentos y productos farmacéuticos ha llevado a un aumento en la presencia de fármacos en aguas residuales.

Los fármacos son considerados contaminantes emergentes, ya que su presencia en el medio ambiente puede tener efectos negativos en los ecosistemas acuáticos y potencia en la salud humana.

JUSTIFICACIÓN

Las aguas residuales representan uno de los principales problemas para el medio ambiente y la salud humana, causando contaminación de cuerpos de agua. Los contaminantes emergentes son compuestos químicos que, debido a su persistencia y toxicidad, representan un riesgo para el medio ambiente y la salud pública.

Debido a la alta contaminación de las aguas provocada por la población urbana y sus industrias, surgen problemas en la salud y en la calidad de vida de los habitantes, se hace necesaria la intervención que contribuya a remover la mayor parte de fármacos en las aguas residuales y así disminuir el impacto que está generando.

En este sentido resulta de suma importancia entender que un recurso como el agua, con el que interactuamos diariamente, es esencial para el mantenimiento de los ecosistemas en general y de todas las formas de vida en particular y al mismo tiempo, contribuir de modo decisivo a sentar las bases para que, en un futuro, estos recursos sean aprovechados de un modo más responsable y sostenible.

El tratamiento de aguas residuales permite obtener efluentes de calidad adecuada que no provocan efectos negativos en los cuerpos receptores, permitiendo implementar sistemas de reúso del agua (Quiñones, 2017).

Por tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar la remoción de un contaminante emergente presente en aguas residuales utilizando un sistema conformado por esponjas a base de aluminio.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Globalmente, se reconoce que el incremento en urbanización, industrialización y población ha resultado en un mayor número de retos que debemos enfrentar como sociedad en torno al manejo de las aguas residuales.

Debido a problemas como la predominancia de sistemas de alcantarillado y a la potencial mezcla con aguas residuales industriales, pueden encontrarse constituyentes no convencionales, metales, sólidos disueltos, contaminantes emergentes como medicinas, detergentes sintéticos, antibióticos veterinarios y humanos, hormonas y esteroides, entre otros (Metcalf y Eddy, 2003).

Los riesgos asociados con estas últimas sustancias pueden constituirse en la mayor amenaza para la salud pública en el largo plazo y ser de más difícil manejo que el riesgo causado por agentes patógenos.

La presencia de contaminantes emergentes en las aguas residuales debido a las actividades industriales y al uso generalizado de productos químicos se ha convertido en una preocupación creciente para la salud ambiental y pública. En respuesta, la utilización de esponjas de aluminio como adsorbente potencial para eliminar estos contaminantes ha llamado la atención.

Los tratamientos de aguas residuales que emplean métodos convencionales no son del todo satisfactorios, al punto que se ha detectado que muchos compuestos persisten sin alteración alguna aún después de aplicar tratamientos terciarios. Por tal razón, es importante identificar y evaluar la eficacia de otras tecnologías para el tratamiento de aguas, con el fin de proponer alternativas que permitan minimizar la presencia de contaminantes emergentes a un bajo costo económico (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez 2012).

La identificación y estudio de contaminantes emergentes es importante porque pueden tener efectos perjudiciales tanto en la salud humana como en los ecosistemas. La investigación continua en esta área busca comprender mejor los riesgos y desarrollar una estrategia sustentable para la detección, control y

tratamiento de estos contaminantes. Las autoridades reguladoras y las agencias de salud pública también trabajan para establecer límites y estándares para la presencia de contaminantes emergentes en el medio ambiente y en productos consumibles, a fin de minimizar sus impactos negativos.

ANTECEDENTES

Durante el año 2014, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) realizó estudios sobre la capacidad de remoción de compuestos emergentes y nutrientes en biofiltros no convencionales con materiales naturales y sintéticos, biorreactores con membrana, oxidación avanzada, así como sobre la generación de energía eléctrica a partir de agua residual con alto contenido de materia orgánica (Díaz, 2020).

Se entiende como contaminante emergente aquel no reconocido como tal, cuya presencia causa preocupación por las consecuencias que esta pueda causar. Entre los contaminantes emergentes presentes en el agua cabe destacar fármacos, entre otros compuestos (IMTA, 2018).

Cabe destacar que el papel de la agricultura y ganadería son fuentes de contaminación difusa de pesticidas y antibióticos, respectivamente, y en la mayoría de los casos su eliminación no es completa.

En la actualidad existen tecnologías enfocadas para su eliminación, sin embargo, las aplicaciones de este tipo de tecnologías resultan ser muy costosas, y algunas tecnologías alternativas suelen ser lentas y siguen en investigación.

El estudio para la eliminación de los contaminantes emergentes en agua es primordial para una buena gestión de los recursos hídricos que actualmente están siendo afectados.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficacia y viabilidad de la esponja a base de aluminio como adsorbente para la remoción de un contaminante emergente presente en aguas residuales sintéticas, con el fin de contribuir al desarrollo de una tecnología efectiva y sostenible para el tratamiento de aguas con presencia de contaminantes emergentes.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Obtención de la esponja de aluminio en dos soluciones (NaCl y NaOH).
2. Caracterizar la esponja de aluminio mediante microscopía óptica.
3. Evaluar la remoción con las esponjas obtenidas.
4. Estudiar el mecanismo de adsorción.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Caracterización de la esponja de aluminio: Realizar una caracterización detallada de la esponja de aluminio para determinar sus propiedades físicas, químicas y estructurales, incluyendo su área superficial, porosidad y composición, con el fin de entender su potencial como adsorbente de fármacos.
2. Evaluación de la eficacia de adsorción: Realizar experimentos de adsorción en laboratorio utilizando la esponja de aluminio y aguas residuales simuladas con concentraciones controladas del fármaco objetivo.

3. Estudio de factores que afectan la adsorción: Investigar cómo factores como el pH del agua, la concentración inicial de los fármacos, la rugosidad de la superficie y el tiempo de contacto, morfología de la esponja de aluminio.
4. Análisis de la efectividad de las cavidades de las esponjas de aluminio obtenidas con diferentes soluciones al adsorber el contaminante.

Al cumplir con estos objetivos, la tesis contribuirá de manera preliminar al conocimiento científico y aportará soluciones para el tratamiento efectivo de aguas residuales con contaminantes emergentes, con el objetivo de reducir su impacto en el medio ambiente y la salud pública.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

La esponja de aluminio, al ser utilizada como agente de remoción en el tratamiento de aguas residuales, demostrará una eficacia significativa en la eliminación de contaminantes emergentes, especialmente aquellos compuestos orgánicos persistentes y productos farmacéuticos, gracias a sus propiedades adsorbentes y catalíticas.

Se espera que la superficie porosa de la esponja de aluminio proporcione sitios de adsorción efectivos para la captura de contaminantes, mientras que la presencia de aluminio pueda actuar como catalizador en procesos de degradación química, contribuyendo así a la mejora de la calidad del agua residual tratada.

La hipótesis sugiere que la esponja de aluminio puede ser una alternativa prometedora y sostenible para abordar la problemática de los contaminantes emergentes en las aguas residuales.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

El presente trabajo se centra en realizar experimentos en agua residual sintética, es decir, simulada en el laboratorio, con el propósito de encontrar mayor certeza en el estudio. De igual forma, las esponjas de aluminio se generaron en una escala laboratorio, con la ayuda de una tarjeta prototipo diseñada por los estudiantes de Sistemas computacionales del TESCo.

Limitaciones

Los siguientes puntos se consideran hasta el momento como limitaciones, para realizar la metodología propuesta a una escala mayor. Sin embargo, los resultados de este estudio podrían arrojar información para atender lo siguiente:

- Reconocer las limitaciones de la esponja de aluminio en la remoción de otros contaminantes presentes en el agua residual.
- Considerar la duración efectiva de las esponjas de aluminio y la necesidad de reemplazo periódico.
- Identificar las condiciones del agua (pH, temperatura, composición química) que pueden afectar la eficacia de las esponjas.
- Reconocer y abordar cualquier requisito regulatorio o normativa relacionada con el uso de esponjas de aluminio en el tratamiento de aguas residuales.
- Evaluar el impacto social relacionado con la implementación del proyecto, como la aceptación por parte de la comunidad.
- Estar al pendiente de los desarrollos científicos y ajustar el enfoque si es necesario.
- Evaluar posibles efectos secundarios, como la liberación de subproductos tóxicos durante el proceso de remoción, y desarrollar estrategias para mitigarlos.

MARCO TEÓRICO

Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas aguas que han sido utilizadas en actividades humanas, industriales, agrícolas o comerciales y que, como resultado de ese uso, han sufrido una modificación en su calidad. Estas aguas no son aptas para el consumo humano o para otros usos sin un tratamiento adecuado debido a la presencia de contaminantes.

Las fuentes de aguas residuales pueden incluir desagües domésticos, efluentes industriales, aguas de lluvia contaminadas y aguas agrícolas contaminadas. Estas aguas residuales pueden contener una variedad de contaminantes, como sustancias químicas tóxicas, nutrientes en exceso, materia orgánica, microorganismos patógenos y otros contaminantes que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana.

De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales, se clasifican en municipales e industriales (NACIONALES, 2016).

Las primeras corresponden a las que son colectadas y manejadas en los sistemas de alcantarillado municipales urbanos y rurales. Las segundas corresponden a las generadas por los procesos industriales.

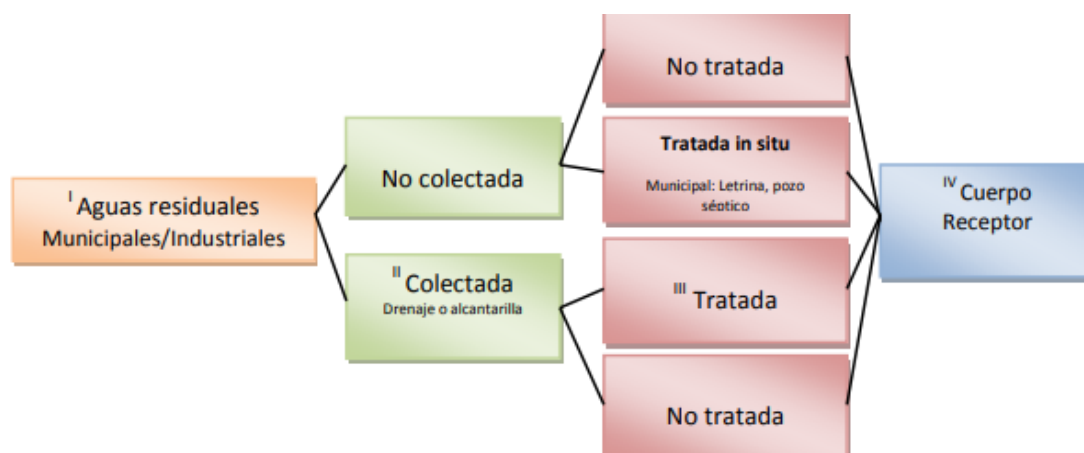


Figura 1. Clasificación de las aguas residuales (tomado de: NACIONALES, 2016).

I Aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (LAN. - Artículo 3 Fracción VI).

II Drenaje: Sistema que ha sido empleado tradicionalmente para recolectar el agua del drenaje municipal en alcantarillas de gravedad y conducirla a una planta de tratamiento central primaria o secundaria previa a su descarga en las aguas superficiales (INEGI).

Cobertura de alcantarillado: Porcentaje de la población que habita en viviendas particulares, cuya vivienda cuenta con un desagüe conectado a la red pública de alcantarillado, a una fosa séptica, a un río, lago o mar, o a una barranca o grieta (INEGI, CONAGUA).

III Agua que mediante procesos individuales o combinados de tipo físico, químico, biológico u otros sea adecuado para su descarga a cuerpos receptores (INEGI).

IV La corriente o depósito natural de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas, cuando puedan contaminar los suelos, subsuelo o los acuíferos (LAN. - Artículo 3 Fracción XVII).

Contaminantes emergentes

Un contaminante emergente es todo aquel previamente desconocido como tal, cuya presencia en el ambiente no es necesariamente nueva pero que su presencia y/o concentración causa preocupación por las posibles consecuencias ambientales y a la salud humana. También definido como contaminantes no regulados, que pueden ser candidatos para la regulación futura dependiendo de la investigación sobre sus efectos de salud y datos de monitoreo. Entre los contaminantes emergentes presentes en el ambiente destacan los fármacos, compuestos perfluorados, hormonas, drogas, productos de higiene personal, plaguicidas, hidrocarburos

aromáticos policíclicos, plásticos (bisfenoles y ftalatos), tensoactivos, aditivos industriales, compuestos estrogénicos, entre otros (Hernández, Ruiz, Rojo & Ponce de León, 2019).

Los efectos adversos de los contaminantes emergentes presentes en los ambientes acuáticos dependen de la frecuencia y la cantidad de su dosificación, si se encuentran en su forma nativa o como metabolitos y de la matriz ambiental en la que se encuentren.

Técnicas de remoción de contaminantes emergentes

Los tratamientos de aguas residuales emplean métodos convencionales, se identifican y evalúan la eficacia de otras tecnologías para el tratamiento de aguas, con el fin de proponer alternativas que permitan minimizar la presencia de contaminantes emergentes a un bajo costo económico, energético y ambiental (Díaz, 2020).

Los métodos de tratamientos para la eliminación de CE se pueden clasificar en tres categorías: fisicoquímicos, biológicos y avanzados.

Tratamientos fisicoquímicos

Dentro de los tratamientos fisicoquímicos para remover CE, se encuentran procesos tradicionales de tratamientos de aguas, son procesos para eliminar partículas suspendidas, coloides y otros materiales suspendidos que pueden estar presentes en el agua cruda. Estos procesos son comunes en plantas de tratamiento de agua potable y en el tratamiento de aguas residuales (Olmos, 2003).

Coagulación

La coagulación es el proceso en el cual se agregan productos químicos coagulantes al agua cruda. Estos coagulantes, comúnmente sales metálicas como sulfato de aluminio o cloruro férrico, neutralizan las cargas eléctricas negativas de las partículas suspendidas en el agua. Al neutralizar las cargas, las partículas coloidales se agrupan y forman flóculos más grandes. Esto facilita su eliminación durante las etapas siguientes del proceso de tratamiento.

Mediante el proceso de coagulación se neutraliza la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas, esta neutralización suele realizarse aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes); de forma que neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua (Castrillón & Giraldo, 2012).

Floculación

La floculación es el proceso en el cual los flóculos formados durante la coagulación se agrupan y se desarrollan aún más en estructuras más grandes y sedimentables. Su objetivo es hacer que los flóculos se aglomeren en partículas más grandes. Estos flóculos son más pesados y sedimentan más fácilmente bajo la influencia de la gravedad. Se adicionan polímeros floculantes, que son sustancias químicas que ayudan a unir los flóculos formados durante la coagulación en estructuras más grandes y menos densas (Carrera & Torres, 2015).

Ultrafiltración

La ultrafiltración es un proceso de separación basado en membranas que se utiliza para separar partículas y moléculas de diferentes tamaños en soluciones acuosas. Esta técnica de filtración es especialmente efectiva para la eliminación de partículas

coloidales, bacterias, virus y macromoléculas orgánicas en el rango de peso molecular medio (Acero, Benítez, Teva, & Leal, 2012).

En el proceso de ultrafiltración, se utilizan membranas con poros de tamaño controlado. Estos poros permiten que el solvente y solutos de menor tamaño pasen a través de la membrana, mientras que retienen partículas y solutos más grandes.

La ultrafiltración funciona mediante la aplicación de una presión hidrostática a través de la membrana. Esta presión fuerza el paso del agua y de los solutos más pequeños a través de los poros de la membrana, dejando atrás las partículas y solutos más grandes en el lado de alimentación.

Las membranas de ultrafiltración tienen poros con tamaños en el rango de 0.001 a 0.1 micrómetros (Acero, Benítez, Teva, & Leal, 2012). Este rango de tamaño de poro permite una eliminación eficiente.

En algunos casos, es necesario aplicar pretratamientos para evitar la obstrucción de las membranas debido a la acumulación de sólidos. Estos pretratamientos pueden incluir filtración previa, coagulación-floculación, o ajustes de pH.

Oxidación

La oxidación es un mecanismo de remoción utilizado en procesos de tratamiento de agua y aguas residuales para eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos. La oxidación implica la adición de agentes oxidantes que reaccionan con los contaminantes para convertirlos en formas menos dañinas o de una forma que se puedan separar (Gogate, Parag & Pandit, 2004).

Existen varios métodos de oxidación que se utilizan en el tratamiento del agua, y algunos de los agentes oxidantes comunes incluyen el oxígeno atmosférico, el ozono, el peróxido de hidrógeno y el cloro.

Tratamientos biológicos

Los tratamientos biológicos pueden convertir rápidamente compuestos orgánicos acuosos en biomasa que luego se puede separar de la fase acuosa por sedimentación. Aun así, no todos los compuestos tales como esteroides o estrógenos son completamente degradados o convertidos a biomasa.

Lodos activados

El tratamiento de lodos activados es un proceso biológico ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Implica la utilización de microorganismos, principalmente bacterias, para descomponer y estabilizar la materia orgánica presente en el agua.

Las aguas residuales se mezclan con una masa de microorganismos en un reactor biológico. Los microorganismos se activan y se alimentan de la materia orgánica presente en el agua. Luego, estos lodos activados se separan del agua tratada mediante sedimentación o flotación (Johnson, Andrew & Sumpter, 2001).

El objetivo es reducir la carga orgánica y mejorar la calidad del agua tratada antes de ser descargada al medio ambiente o antes de pasar a etapas adicionales de tratamiento.

Filtros de goteo biológico

Los filtros de goteo biológico son una forma de tratamiento biológico en la que el agua residual fluye sobre superficies filtrantes, donde los microorganismos adhieren y forman una biopelícula que degrada la materia orgánica.

En un sistema de filtro de goteo, el agua residual gotea o fluye sobre un medio de soporte, que puede ser grava, plástico u otro material poroso. Los microorganismos en la biopelícula adherida al medio de soporte realizan la descomposición de la

materia orgánica. Son eficaces para la eliminación de materia orgánica y nitrógeno amoniacal (Pacheco, 2015).

Tratamientos avanzados

Entre los procesos que se han empleado para eliminar diversos tipos de CE, también se encuentran los procesos de oxidación avanzada, los cuales generan radicales hidroxilo en cantidades suficientes para ser capaces de oxidar la mayoría de los compuestos químicos complejos presentes en aguas residuales.

Oxidación fotocatalítica

La oxidación fotocatalítica es un proceso que utiliza la luz para activar un catalizador y promover reacciones de oxidación en compuestos presentes en el agua o en superficies. Este método se basa en la fotocatálisis, un fenómeno en el cual la absorción de luz por un material, generalmente un semiconductor, provoca la generación de pares de electrones y huecos, desencadenando reacciones químicas.

La fotocatálisis heterogénea implica la presencia de un catalizador sólido (fotocatalizador) y un material líquido o gaseoso en el que se llevan a cabo las reacciones de oxidación. El catalizador se activa mediante la absorción de luz (Giraldo, Franco & Arango, 2004).

El dióxido de titanio (TiO_2) es uno de los fotocatalizadores más comunes utilizados en la oxidación fotocatalítica. Cuando se ilumina con luz ultravioleta (UV), el TiO_2 puede generar pares de electrones y huecos que participan en reacciones redox.

La excitación de electrones en el fotocatalizador puede dar lugar a la formación de radicales libres, como radicales hidroxilo ($\text{OH}\cdot$). Estos radicales son altamente reactivos y pueden oxidar compuestos orgánicos presentes en el agua, descomponiéndolos en productos más simples.

La oxidación fotocatalítica se utiliza para descomponer una variedad de contaminantes, incluyendo compuestos orgánicos persistentes, tintes, productos farmacéuticos y otros contaminantes emergentes presentes en el agua. Se aplica en el tratamiento de aguas residuales, la purificación de agua potable y la desinfección. También se ha explorado su uso en la degradación de contaminantes en superficies, como la descontaminación de aire y la limpieza de materiales.

Química de Fenton

La química de Fenton es un proceso de oxidación avanzada utilizado para degradar contaminantes orgánicos en aguas residuales y otros efluentes. Este método implica la generación de radicales libres altamente reactivos, como el radical hidroxilo (OH), mediante la reacción entre peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y iones de hierro (Fe^{2+} o Fe^{3+}), (Nogueira, Trovó, Silva, Villa & Oliveira, 2007).

Las condiciones óptimas para la química de Fenton incluyen un equilibrio adecuado de iones de hierro y peróxido de hidrógeno, así como un pH específico. El ajuste de estas condiciones es crítico para maximizar la eficacia del proceso.

La química de Fenton se utiliza en el tratamiento de aguas residuales industriales y municipales para eliminar contaminantes orgánicos persistentes, colorantes, compuestos fenólicos y otros compuestos recalcitrantes.

Nanofiltración con membranas

La nanofiltración es un proceso de separación que utiliza membranas con poros de tamaño intermedio entre los de la ultrafiltración y la ósmosis inversa. Estas membranas permiten la separación de iones y moléculas más pequeñas que las retenidas por las membranas de ultrafiltración, pero son más selectivas que las utilizadas en la ósmosis inversa.

Las membranas de nanofiltración tienen poros con un tamaño nominal en el rango de aproximadamente 1 a 10 nm. Esta dimensión permite la retención selectiva de iones y moléculas con ciertos tamaños moleculares.

La separación en la nanofiltración ocurre principalmente por un mecanismo de "exclusión de tamaño", donde las moléculas más grandes y los iones son retenidos por la membrana, mientras que las moléculas más pequeñas y el agua pueden pasar a través de ella (Pino Soto, 2020).

La nanofiltración se utiliza en diversas aplicaciones, como el tratamiento de agua potable, desmineralización del agua, eliminación de iones divalentes, tratamiento de aguas residuales, y producción de agua para la industria alimentaria y farmacéutica.

Generalmente opera a presiones más bajas que la ósmosis inversa, pero a presiones más altas que la ultrafiltración. La presión aplicada depende de la membrana específica y de los componentes a tratar.

Ósmosis inversa

La ósmosis inversa es un proceso de separación que utiliza una membrana semipermeable para eliminar impurezas y contaminantes del agua. Es una tecnología eficaz utilizada en diversas aplicaciones, desde la purificación de agua potable hasta la desalinización del agua de mar y la producción de agua para aplicaciones industriales. Se basa en el principio de la ósmosis, que es el movimiento natural de moléculas de agua desde una solución de baja concentración (solución diluida) a través de una membrana hacia una solución de alta concentración. En la ósmosis inversa, este proceso se invierte aplicando presión externa al agua con mayor concentración, lo que fuerza el paso de agua a través de la membrana semipermeable (Durán, 2021).

Cefalexina

La cefalexina (CFX) es un antibiótico que fue introducido por primera vez en 1967 por Eli Lilly mientras todavía se usaba para el tratamiento de enfermedades causadas por *Streptococcus pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *H. influenzae*, *Streptococcus pyogenes*, *Moraxella catarrhalis*, *Proteus mirabilis*, *Escherichia coli* y *Klebsiella pneumoniae*. Fue aprobado por la Administración de Medicamentos y Alimentos de los EE. UU. (FDA) en 1970, y está clasificado como una cefalosporina de primera generación, Figura 2, (Pandey & Cascella, 2023).

Las cefalosporinas son compuestos con una estructura química general, un anillo de cuatro miembros A y uno B de seis miembros los cuales contiene heteroátomos de nitrógeno, y azufre. Este arreglo estructural es llamado anillo betalactámico. Esta estructura en particular es lo que proporciona la actividad antibacteriana (Figura 2,3).

En el caso de la CFX, este fármaco se utiliza ampliamente en entornos sanitarios ambulatorios y hospitalarios debido a su perfil favorable de seguridad y eficacia. La CFX se utiliza comúnmente en el tratamiento de infecciones del tracto urinario, infecciones respiratorias, otitis media, infecciones óseas causadas por *Staphylococcus aureus* o *Proteus mirabilis* e infecciones de la piel y tejidos blandos causadas principalmente por *S. aureus* o *Streptococcus pyogenes*. La CFX se administra de forma profiláctica para minimizar el riesgo de infecciones del sitio quirúrgico y otras infecciones bacterianas (Pandey & Cascella, 2023).

Sin embargo, este fármaco es insoluble en agua, tiene una biodisponibilidad muy pobre y se libera sin cambios en grandes cantidades a través de la orina después de ser absorbido por el cuerpo. En muchos casos, se desarrolla resistencia a los antibióticos, lo que hace que la terapia sea ineficaz.

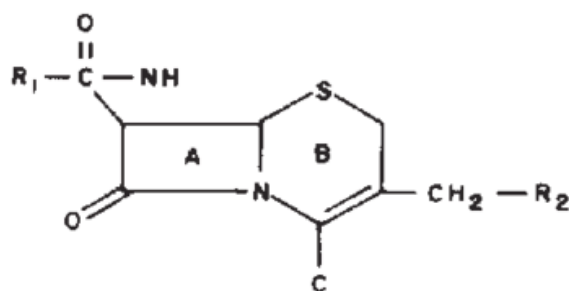


Figura 2. Estructura química de las Cefalosporinas (tomado de: Revista chilena de infectología 21(4)).

Mecanismo de acción

La CFX, entonces, es un antibiótico betalactámico que pertenece a la clase de las cefalosporinas (Figura 3) de primera generación y se caracteriza por un anillo betalactámico en su estructura. La CFX, junto con otros antibióticos betalactámicos, utiliza su anillo betalactámico para inhibir la síntesis, proceso crucial en la formación de la pared celular bacteriana.

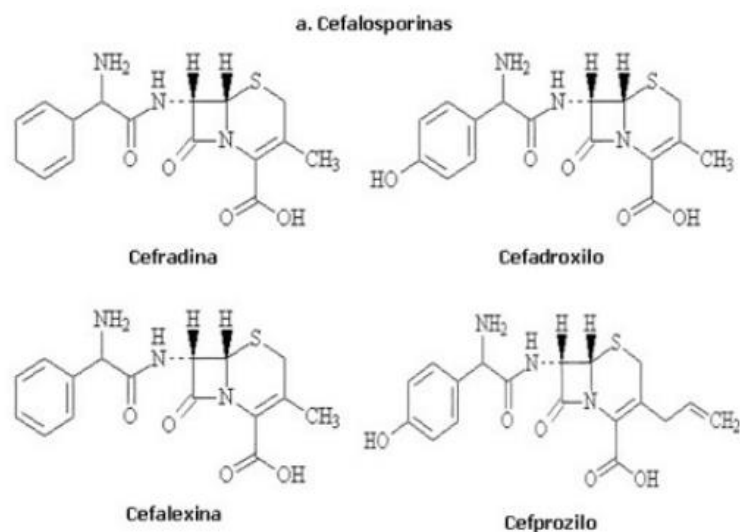


Figura 3. a) Estructuras químicas de Cefalosporinas modeladas (Tomado de: Revista Electrónica de las Ciencias Médicas en Cienfuegos, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180016117003>).

El anillo betalactámico de la CFX se une a las proteínas fijadoras de penicilina. Aunque este mecanismo inhibe un paso crucial en la preservación de la pared celular bacteriana, las bacterias pueden desarrollar resistencia a este antibiótico a través de varios mecanismos (Suárez & Gudíol, 2009).

El principal mecanismo de resistencia implica la expresión bacteriana de enzimas betalactamasas que degradan los antibióticos betalactámicos como la CFX (Pandey & Cascella, 2023). Las betalactamasas son una gama de enzimas que producen las bacterias para evitar ser destruidas por los antibióticos. La Figura 4, muestra un esquema del mecanismo de inactivación de una cefalosporina y una penicilina ante la enzima bacteriana inactivadora, lo cual consiste en mecanismos de resistencia que actúan hidrolizando y, por lo tanto, inactivando la molécula antibiótica al convertirla en un metabolito inactivo al modificar la estructura del anillo betalactámico por rompimiento de este (Suárez & Gudíol, 2009).

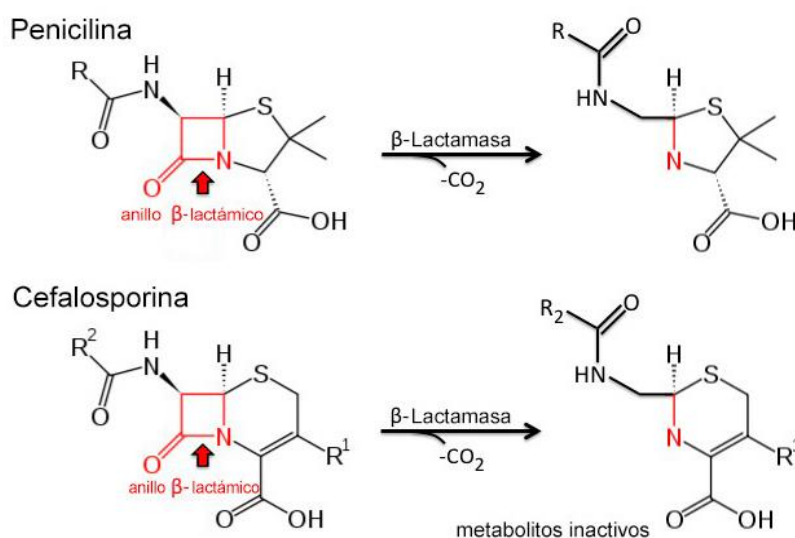
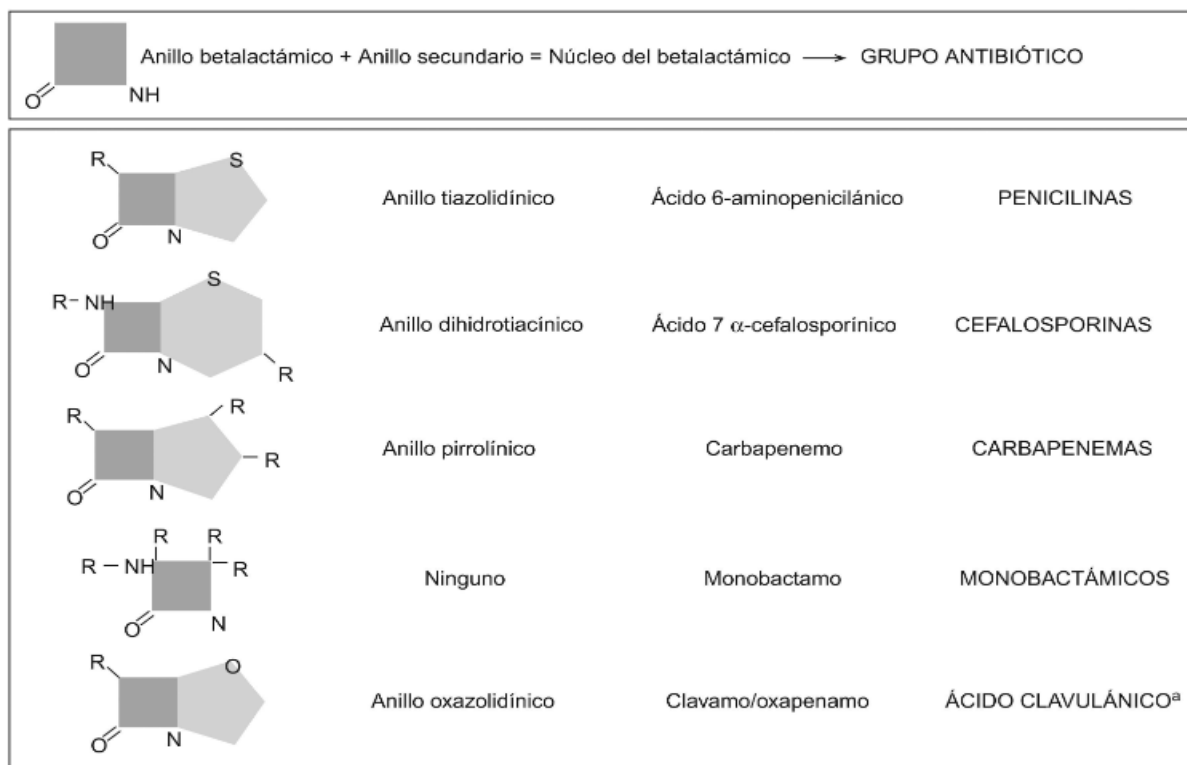


Figura 4. Mecanismo de inactivación de las cefalosporinas y las penicilinas por las enzimas bacterianas. (Tomado de: *Avances en Microbiología*, 11, 37-62. doi: 10.4236/aim.2021.111004.).

Además, las bacterias pueden adquirir resistencia a la CFX modificando las proteínas fijadoras de penicilina, alterando así la afinidad de unión de la CFX a su sitio objetivo.

Clasificación

La presencia del anillo betalactámico define químicamente a esta familia de antibióticos. Además, éste determina el mecanismo de acción, la escasa toxicidad directa y el principal mecanismo de resistencia (las betalactamasas) de esta gran familia de antibióticos. No obstante, para que el betalactámico sea activo, es preciso que esté unido a otros radicales (otros anillos). La asociación de diferentes tipos de cadenas lineales, junto con las características propias de este esqueleto básico formado por los 2 anillos llamado núcleo, modifica las propiedades del compuesto resultante y da lugar a los diferentes grupos de antibióticos betalactámicos: *penicilinas*, *cefalosporinas*, *carbapenémicos*, *monobactamas* e inhibidores de las betalactamasas. La Figura 5 muestra las diferentes clasificaciones de antibióticos de acuerdo con la unión del anillo betalactámico (Suárez & Gudiol, 2009).



^aTodos los inhibidores de las betalactamasas que se usan en la práctica (ácido clavulánico, sulbactam y tazobactam) tienen estructura betalactámica. El sulbactam y el tazobactam son derivados sulfónicos del ácido penicilánico.

Figura 5. Estructura básica de los diferentes grupos de betalactámicos (obtenido de: Suárez, C., & Gudiol, F. (2009). Antibióticos betalactámicos. *Enfermedades infecciosas y microbiología clínica*, 27(2), 116-129).

Estructura

La CFX tiene un peso molecular de 365,40 g/mol y una estructura tal como se muestra en la Figura 6, es uno de los antibióticos *β -lactámicos* que se liberan de las aguas residuales, las aguas residuales de los hospitales, los fabricantes de productos farmacéuticos, la agricultura y la ganadería.

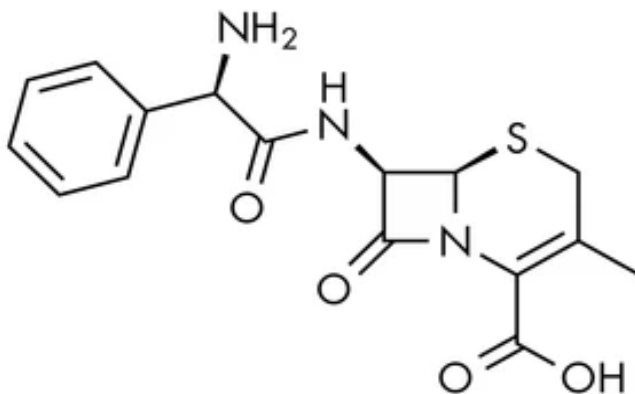


Figura 6. Estructura de la CFX (tomado de: <https://es.vecteezy.com/arte-vectorial/6474662-vector-esqueleto-formula-de-cefalexina-farmaco-quimica-molecula>).

Aluminio

Por otro lado, el aluminio es un elemento químico de la tabla periódica con el símbolo "Al" y el número atómico 13. Es un metal ligero, plateado y maleable que se encuentra en la naturaleza en forma de compuestos minerales. Es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre y se utiliza mucho en una variedad de aplicaciones debido a sus propiedades físicas y químicas (Hufnagel, 1992). Su estructura, de la familia de cristales metálicos, es una estructura empaquetada cerrada en la que los átomos están en una secuencia de tres capas, lo que da como resultado un empaquetamiento geométrico denso. La Figura 7 ilustra una disposición 3D de tres de sus capas.

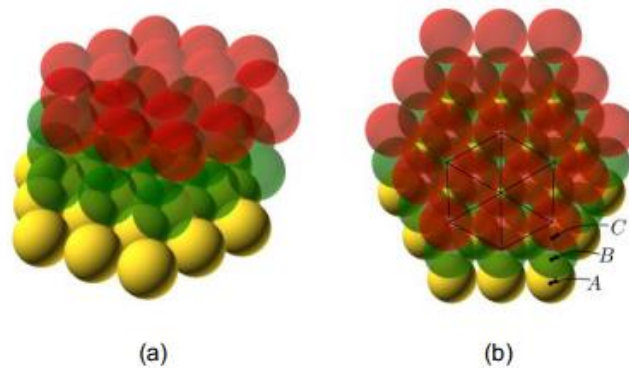
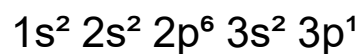


Figura 7: Estructura cristalina hexagonal del Aluminio. Representación en capas que forman la estructura. (a) Las capas de los átomos y la ubicación relativa de cada capa compacta (Tomado de: Orr & Golan (2022). Crystalline quality in aluminium single crystals, characterized by X-Ray diffraction and Rocking-Curve analysis. arXiv preprint arXiv:2107.08477v3).

Configuración electrónica

La configuración electrónica del aluminio se refiere a la distribución de sus electrones en los diferentes niveles y subniveles de energía en un átomo. El aluminio es un elemento químico con número atómico 13, lo que significa que tiene 13 electrones y por lo cual su número atómico es pequeño y no forma parte de los metales de transición, ya que su configuración electrónica del aluminio se puede representar de la siguiente manera:



Esta configuración muestra que el aluminio tiene tres electrones en su nivel de energía más externo ($3s^2 3p^1$), y esto es importante en términos de su reactividad química. El aluminio tiene la tendencia de perder esos tres electrones para alcanzar una configuración electrónica más estable, similar a la de un gas noble. Pese a que no es un metal de transición, esta propiedad hace que el aluminio sea un metal

activo en términos de reactividad química, y es la base de su uso común en la industria, especialmente en la producción de aluminio metálico.

Usos y aplicaciones

El aluminio es conocido por su baja densidad y su capacidad para resistir la corrosión. Es un excelente conductor de calor y electricidad, lo que lo hace útil en aplicaciones como cables eléctricos, conductores y componentes electrónicos. Además, se utiliza en la fabricación de una amplia gama de productos, desde envases y utensilios de cocina hasta partes de automóviles, aviones y estructuras de construcción (Hufnagel, 1992).

Una característica distintiva del aluminio es su capacidad para formar una capa delgada de óxido en su superficie cuando está expuesta al aire. Esta capa de óxido proporciona protección contra la corrosión y da al aluminio su aspecto característico de color plateado (Kaesche, 1974). La capacidad de reciclaje del aluminio también es notable, ya que se puede reciclar de manera eficiente y utilizada en la fabricación de nuevos productos con un menor consumo de energía en comparación con la producción a partir de mineral de bauxita.

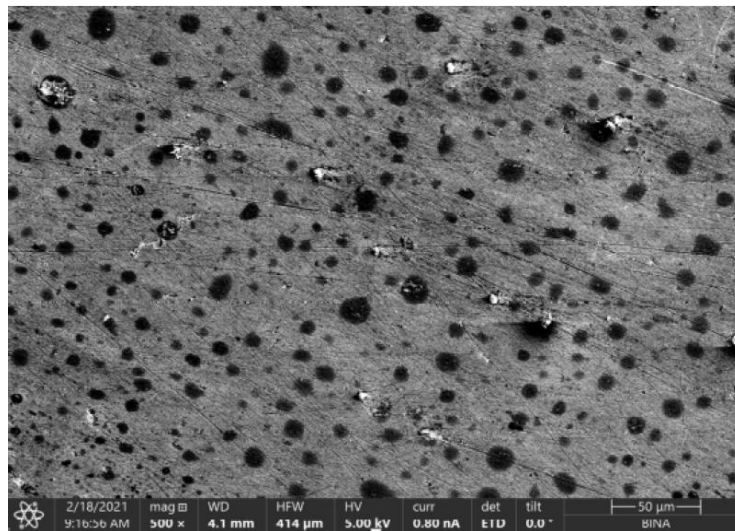


Figura 8. Imagen de la superficie de aluminio después del corte. La densidad de las picaduras, con tamaños de picaduras que alcanzan los 20 nm. (Tomado de:

Orr & Golan (2022). Crystalline quality in aluminium single crystals, characterized by X-Ray diffraction and Rocking-Curve analysis. arXiv preprint arXiv:2107.08477v3).

Tabla 1. Propiedades del aluminio (tomado de: Fernández, Martínez, Valencia & Cruz, 2006). Aplicaciones de los materiales compuestos de matriz metálica en el sector eléctrico y electrónico. Dyna, 73(149), 131-140).

PROPIEDADES	ALUMINIO
Punto de fusión ($^{\circ}C$)	660
Densidad (g/cm^3)	2,7
Conductividad Eléctrica (% <i>IACS</i>)	64
Resistividad Eléctrica ($\mu\Omega cm$)	2,67
Conductividad térmica (0 – 100 $^{\circ}C$)	237
Coefficiente de expansión lineal ($\times 10^{-6} K^{-1}$)	23,5
Dureza (<i>HV</i>)	Duro= 21 Blando= 35-48
Coefficiente de Poisson	0,345
Resistencia de la tracción (<i>MPa</i>)	Duro= 50-90 Blando= 130-195
Límite elástico (<i>MPa</i>)	Duro= 10-35 Blando= 110-170
Módulo Elástico (<i>Gpa</i>)	70,6

El aluminio es ampliamente utilizado en la fabricación de latas y envases para alimentos y bebidas debido a su ligereza, resistencia y capacidad de reciclaje, se utiliza en la construcción de perfiles, vigas y componentes estructurales debido a su resistencia y durabilidad, también se utiliza en recubrimientos para techos y revestimientos de edificios, en la fabricación de aviones y componentes aeroespaciales debido a su relación resistencia-peso, en la fabricación de piezas ligeras para automóviles.

Por su alta conductividad eléctrica, se utiliza en cables y conductores eléctricos, en la fabricación de componentes electrónicos y dispositivos térmicos.

El aluminio es altamente reutilizable, y su reciclaje requiere solo una fracción de la energía necesaria para producir aluminio primario, lo que contribuye a tener una sustentabilidad ambiental.

Diagramas de Pourbaix

Marcel Pourbaix ha desarrollado un método único y conciso para resumir la información termodinámica de la corrosión de un metal determinado en un útil diagrama potencial-pH. Estos diagramas indican ciertas regiones de potencial y pH donde el metal sufre corrosión y otras regiones de potencial y pH donde el metal está protegido de la corrosión. Estos diagramas se denominan “diagramas de Pourbaix” o “diagramas de equilibrio” porque se aplican a condiciones en las que el metal está en equilibrio con su entorno (McCafferty, 2010).

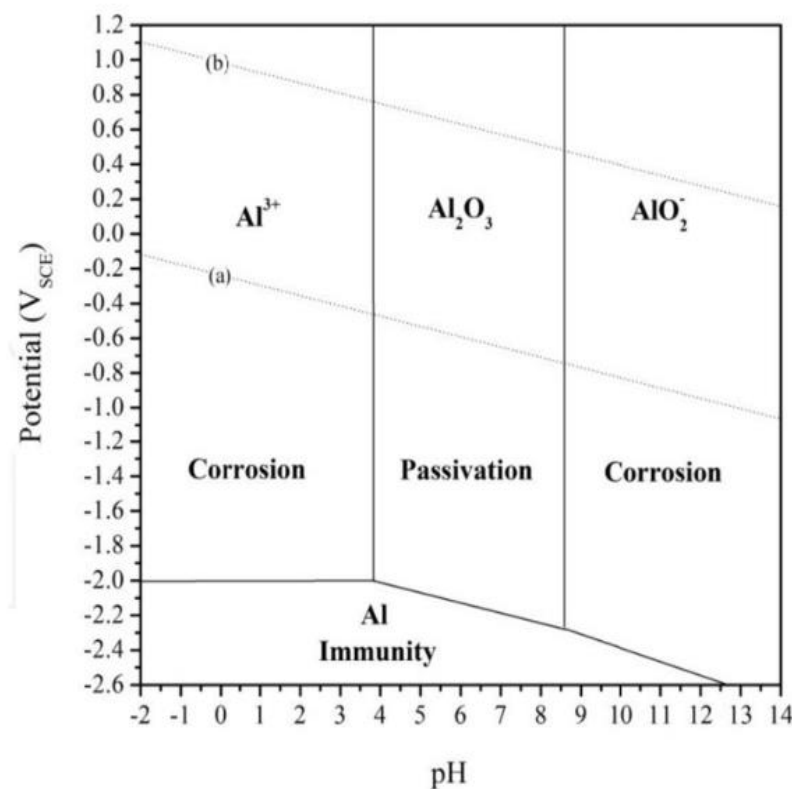


Figura 9: Diagrama de Pourbaix para aluminio puro (tomado de: Deissmann, Guido & Haneke, Kirsten & Filby & Wieggers, Rob. (2016). Corrosion behaviour of spent research reactor fuel under OPERA repository conditions).

Corrosión de aleaciones de aluminio

Las aleaciones de aluminio comúnmente utilizadas en aplicaciones aeroespaciales incluyen las series 2000, 6000 y 7000. Cada serie tiene diferentes propiedades y resistencia a la corrosión. Pueden experimentar diferentes tipos de corrosión, que incluyen la corrosión galvánica, la corrosión por picadura, la corrosión intergranular y la corrosión por tensión. Cada tipo de corrosión tiene diferentes causas y mecanismos, y puede ser acelerado por factores como la presencia de fisuras, la tensión mecánica y las fluctuaciones en la temperatura y la humedad.

Las aleaciones de aluminio son muy utilizadas debido a su combinación de propiedades: Son livianas y tienen una alta conductividad térmica y eléctrica. En particular, la serie 6000 (Al-Si-Mg) se caracteriza por una alta rigidez específica, excelente conformabilidad, soldabilidad y resistencia a la corrosión.

Para alcanzar las propiedades mecánicas, estas aleaciones requieren tratamientos térmicos de solución y precipitación, que dan como resultado la formación de compuestos intermetálicos a partir de los elementos de aleación. Estos compuestos en las aleaciones de Al-Mg-Si son los precipitados de Mg_2Si y las partículas que contienen Fe, presentan un comportamiento electroquímico ambivalente (Cicileo, Gassa, Pontoriero & Chichizola, 2013).

El comportamiento a la corrosión de aleaciones de aluminio de la serie 6000 en presencia de cloruros mediante métodos electroquímicos, mencionan que el ataque por picaduras localizado ocurre en partículas intermetálicas que contienen Mg y Si. Las aleaciones de aluminio son susceptibles a la corrosión por elementos volátiles liberados del combustible de perclorato de amonio sólido. Las partículas

intermetálicas que contienen Al-Si-Mg son altamente reactivas en solución de NaCl y se consideran sitios de nucleación para la formación de picaduras.

Este efecto de la concentración de iones cloruro sobre la corrosión por picaduras se estudió mediante la técnica de voltamperometría cíclica (Cicileo, Gassa, Pontoriero & Chichizola, 2013).

Para prevenir la corrosión, se aplican diversos tratamientos de protección superficial a las aleaciones de aluminio en aplicaciones aeroespaciales. Estos pueden incluir recubrimientos protectores, como pinturas y anodizados, así como la aplicación de inhibidores de corrosión y el uso de aleaciones con mayor resistencia a la corrosión.

Polarización electroquímica

La polarización electroquímica se refiere a la alteración deliberada del potencial eléctrico de un electrodo en un sistema electroquímico. Un sistema electroquímico implica la presencia de reacciones químicas redox en una interfaz electródica, como ocurre en celdas electroquímicas, baterías, electrodos en soluciones acuosas, entre otros (Prasanth, Rajkeerthi & Hariharan, 2023).

Cuando se realiza una polarización electroquímica, se aplica un potencial externo a un electrodo para modificar su potencial eléctrico y, por lo tanto, la dirección y velocidad de las reacciones electroquímicas que tienen lugar en la interfaz electrónica.

La variación en el potencial de los electrodos cuando se hace circular corriente por los mismos se conoce como polarización. Es decir que la polarización es el cambio en el potencial de un electrodo a medida que la corriente fluye de o hacia él.

Causas de la polarización:

a) Concentración iónica localizada en las zonas anódicas y catódicas aumentada o disminuida debido a que la difusión de iones en un medio líquido es lenta.

b) Películas de superficie. Las películas de superficie pueden estar presentes desde antes del instante en que el metal y medio se pongan en contacto, pero también pueden formarse posteriormente como productos de las reacciones de corrosión.

Las sustancias que las constituyen pueden ser sólidas o gaseosas. Estas películas disminuyen o impiden la difusión de iones o sustancias sin carga que forman parte de las reacciones de corrosión. Si el electrodo se recubre completamente por una película de este tipo, la corrosión ya no puede proseguir y entonces se dice que el metal está pasivado o bien resiste a la corrosión (McCafferty, 2010).

c) Existen otras causas de polarización y las cuales suelen actuar simultáneamente y la contribución individual de cada una de ellas.

Polarización Anódica:

Anodización

Incremento del potencial en el electrodo anódico. Puede llevar a la oxidación de especies químicas presentes. La anodización es un proceso electroquímico que se utiliza para aumentar el espesor de la capa de óxido en la superficie de ciertos metales, siendo el aluminio uno de los materiales más comúnmente anodizados. Este proceso crea una capa protectora de óxido en la superficie del metal, mejorando la resistencia a la corrosión y proporcionando propiedades estéticas y funcionales específicas.

Proceso de anodización

Se prepara el sustrato antes de la anodización, la superficie del metal, generalmente aluminio, se limpia a fondo para eliminar cualquier suciedad, grasa o impureza que pueda afectar la calidad del recubrimiento. Esto se logra mediante procesos de limpieza química o mediante un pretratamiento mecánico.

El metal por anodizar se coloca como el electrodo de trabajo en un electrolito, mientras que otro electrodo, generalmente de grafito, sirve como electrodo auxiliar. Ambos electrodos están sumergidos en una solución acuosa que actúa como electrolito. Se aplica una corriente continua a través del sistema mediante una fuente de alimentación. Esto inicia el proceso de electrólisis, donde se lleva a cabo la reacción electroquímica que conduce a la formación de la capa de óxido.

Durante la electrólisis, se forma una capa de óxido sobre la superficie del metal. En el caso del aluminio, este óxido generalmente es de alúmina (Al_2O_3). La capa de óxido crece a expensas del metal original.

El tiempo de anodización y otros parámetros del proceso, como la concentración del electrolito y la temperatura, se controlan cuidadosamente para lograr propiedades específicas en la capa de óxido. Diferentes acabados y colores pueden lograrse mediante este control.

Después de la anodización, algunas piezas se someten a un proceso de sellado para cerrar los poros en la capa de óxido. Esto mejora aún más la resistencia a la corrosión y puede proporcionar propiedades adicionales. Las piezas anodizadas se utilizan en una variedad de aplicaciones, desde componentes industriales hasta productos de consumo.

Constante dieléctrica

La constante dieléctrica, también conocida como permitividad relativa o constante eléctrica relativa, es una propiedad física de un material que describe su capacidad para responder a un campo eléctrico, esto influye en la fuerza entre cargas eléctricas dentro del material.

Se denota generalmente por la letra griega ϵ (épsilon). La constante dieléctrica de un material se define como la relación entre la constante eléctrica relativa del material y la constante eléctrica relativa del vacío (ϵ_0), que es fundamental en la teoría electromagnética.

La fórmula es:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Donde:

ϵ_r es la constante dieléctrica o permitividad relativa del material.

ϵ es la permitividad absoluta o constante dieléctrica del material.

ϵ_0 es la permitividad del vacío, que es aproximadamente: 8.854×10^{-12} F/m en el Sistema Internacional de Unidades.

La constante dieléctrica es importante en el estudio de los campos eléctricos en materiales. Los materiales con una constante dieléctrica más alta tienen una mayor capacidad para polarizarse en presencia de un campo eléctrico y, por lo tanto, experimentan fuerzas eléctricas más débiles entre las cargas (García, 2018). Los dieléctricos se utilizan comúnmente en condensadores para aumentar su capacidad almacenadora de carga.

Orbitales moleculares

Las energías de los orbitales moleculares más ocupados (HOMO) y más bajos desocupados (LUMO), (Figura 10), calculadas mediante métodos de química cuántica de gran importancia para el descubrimiento de nuevos materiales, para estimar propiedades optoelectrónicas y filtrar bases de datos de moléculas orgánicas candidatas.

La capacidad de donar y recibir electrones de una molécula se puede definir utilizando el valor de la energía HOMO y LUMO. Estos orbitales moleculares desempeñan un papel vital en las propiedades electrónicas y ópticas, luminiscencia, reacciones fotoquímicas, UV-VIS, química cuántica y estudios farmacéuticos, además de proporcionar información sobre el mecanismo. La brecha de energía del

orbital molecular de frontera sirve para indicar la estabilidad de la estructura, informa sobre la estabilidad cinética y la reactividad química de una molécula, así como también ayuda a predecir la posición más reactiva de una molécula (Mumit, Pal, Alam, Islam, Paul & Sheikh, 2020).

En los diodos emisores de luz orgánicos, una corriente de electrones fluye a través del dispositivo a medida que los electrones se inyectan en el LUMO de la capa en el cátodo y se retiran del HOMO en el ánodo. En las células solares orgánicas, la absorción de luz se interpreta en excitaciones de electrones desde los orbitales HOMO a LUMO, y el transporte de carga se logra mediante transferencias de electrones entre los orbitales fronterizos de donantes y aceptores (Pereira, Xiao, Latino, Wu, Zhang & Aires de Sousa, 2017).

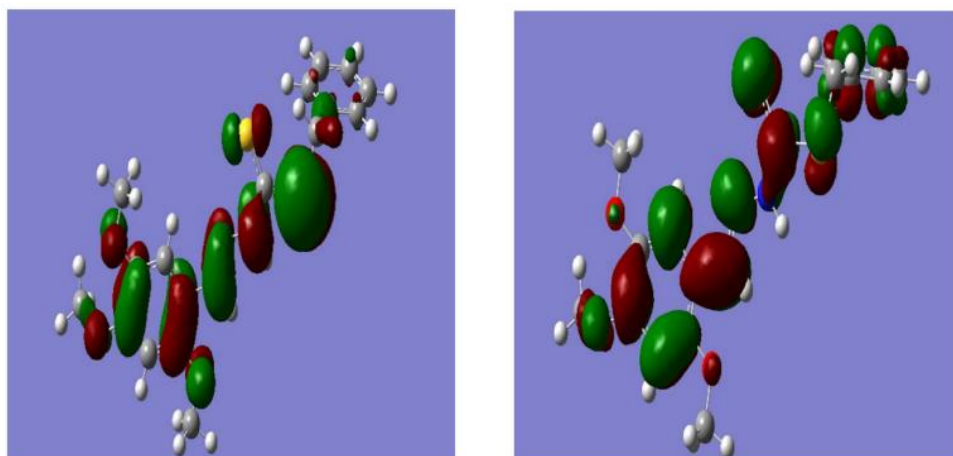


Figura 10. Ejemplo de gráfico HOMO (izquierda) y LUMO (derecha) de un compuesto (Tomado de: (Mumit, Pal, Alam, Islam, Paul & Sheikh, 2020).

Con la ayuda de la energía de los orbitales HOMO y LUMO, se pueden encontrar los parámetros de reactividad química de la molécula, tales como la suavidad química (S), el potencial químico (μ), el índice de electrofilicidad (ω) y la dureza química (η). El índice de electrofilicidad de una molécula informa sobre la capacidad de unión de un compuesto con biomoléculas. El valor más alto del índice de electrofilicidad de una molécula tiene una mayor capacidad de unión con biomoléculas y puede actuar como una especie electrófila. Mientras que, el valor

más bajo de dureza química con un valor alto negativo de potencial químico significa que la molécula es blanda con alta polarización (Mumit, Pal, Alam, Islam, Paul & Sheikh, 2020).

Adsorción

La adsorción es un proceso que ocurre cuando un soluto gaseoso o líquido se acumula sobre la superficie de un sólido o un líquido (adsorbente), formando una película molecular o atómica (adsorbato), Figura 11. Dependiendo del tipo de atracciones entre el adsorbato y el adsorbente, la adsorción se puede dividir en dos tipos: adsorción física y química, también conocida como fisisorción y quimisorción (Singh, Nagpal & Agrawal, 2018).

El proceso de adsorción transcurre en una serie de etapas sucesivas.

1. Difusión externa. El adsorbato se aproxima a la superficie externa del sólido; para ello debe vencer la resistencia de una fina capa acumulada alrededor del adsorbente (interfase sólido-fluido).
2. Difusión interna. Debido a que la superficie externa expuesta por las partículas tiende a ser inferior al 1% del total, el adsorbato migra a través de la red porosa del sólido.
3. Adsorción del adsorbato. En esta etapa el adsorbato se adhiere a la superficie del adsorbente.

El tipo de adsorción que se da en un sistema adsorbato-adsorbente depende de la naturaleza tanto del adsorbato como del adsorbente, de la reactividad de la superficie, del área superficial del adsorbente, de la temperatura y de la presión de adsorción. Existen dos tipos de adsorción:

- Fisisorción. Las moléculas del fluido son adsorbidas en el sólido a través de fuerzas débiles, de tipo dispersivo, dipolar o interacciones de Van der Waals, similares a las responsables de la condensación de vapores.

- Quimisorción. Implica reacción química entre el adsorbato y el adsorbente, por lo que la unión entre ambos es mucho más fuerte (Álvarez, 2016).

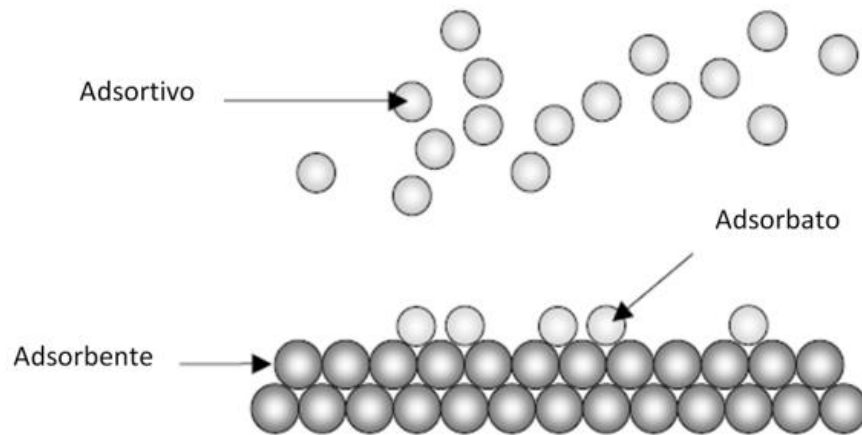


Figura 11. Esquema que ilustra el adsorbente, el adsorbato y el adsorbtivo.
(Tomado de: Álvarez Gutiérrez, N. (2016). Procesos de adsorción para la captura de CO₂ en corrientes de biogás).

Técnicas de caracterización química.

Espectroscopia UV

La espectroscopia UV (ultravioleta) es una técnica analítica que utiliza la radiación electromagnética en la región del espectro ultravioleta para estudiar las propiedades de las sustancias. La región del espectro UV se encuentra entre la luz visible y los rayos X, (Figura 12), con longitudes de onda que van aproximadamente desde 10 nm hasta 400 nm (Díaz & Fiñana, 2010).

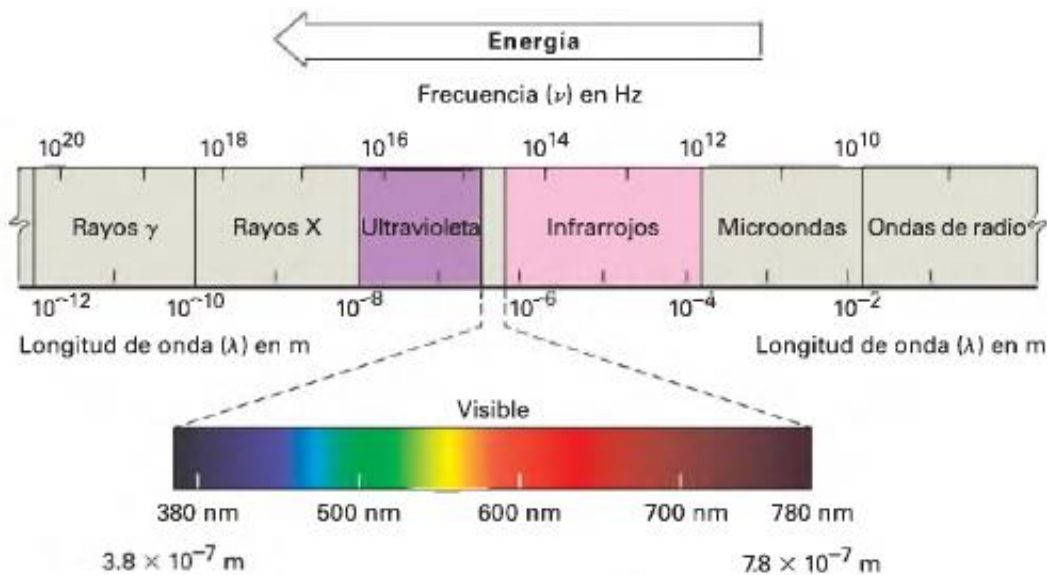


Figura 12. Representación gráfica del espectro electromagnético de la luz, donde se observa el rango de la luz visible (tomado de: McMurry, J., Mondragón, C. H., & Pozo, V. G. (2008)).

La radiación electromagnética se supone en una forma dual, donde se dice que se comporta como partícula y como energía. Por tanto, toda la radiación electromagnética del espectro se puede caracterizar por la longitud de las ondas y por su frecuencia. La longitud es la separación horizontal entre los picos de la onda, lo que caracteriza la frecuencia, y amplitud es la altura de la onda tomando como referencia el punto medio del pico, tal como se representa en la Figura 13. Donde además se puede observar la comparación de una onda electromagnética del rango del ultravioleta y una del rango del infrarrojo. Por tanto, entre mayor frecuencia, mayor energía.

La longitud de onda se mide comúnmente en nanómetros (nm), que es una unidad de longitud equivalente a la mil millonésima parte de un metro. Esta unidad es comúnmente utilizada para describir longitudes de onda en el espectro electromagnético, como las ondas de luz.

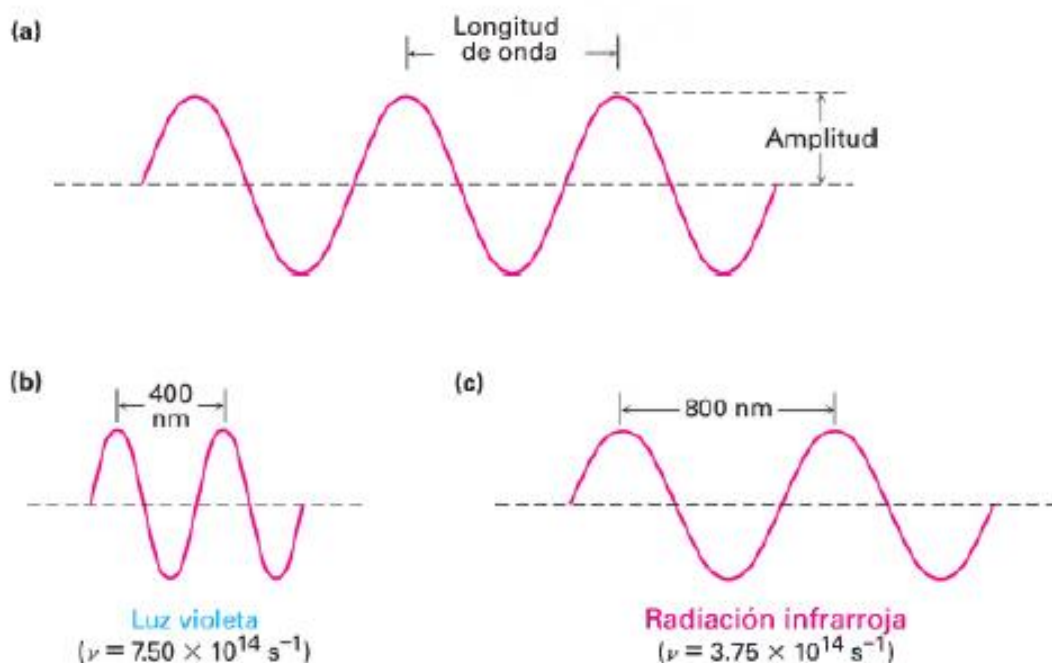


Figura 13. (a) Las ondas electromagnéticas se caracterizan por una longitud de onda, una frecuencia y una amplitud, la longitud de onda (λ) es la distancia entre dos máximos de onda sucesivos. La amplitud de onda es la altura de la onda medida desde el centro, (b)-(c) Lo que percibimos como tipos diferentes de radiación electromagnética son simplemente ondas con diferentes longitudes de onda y frecuencias. (Tomado de: McMurry, J., Mondragón, C. H., & Pozo, V. G. (2008)).

En el caso de la espectroscopia UV, se utiliza un espectrofotómetro para medir la absorbancia o transmitancia de una muestra en función de la longitud de onda de la radiación ultravioleta incidente. La ley de Beer-Lambert establece la relación entre la absorbancia, la concentración de la muestra y la longitud de onda (Díaz & Fiñana, 2010).

Con la radiación de luz UV, la energía absorbida corresponde a la cantidad necesaria para que un electrón encontrado en un orbital de baja energía se desplace hacia un orbital de alta energía en la molécula.

Esta técnica es particularmente útil para analizar compuestos orgánicos e inorgánicos que absorben radiación UV. Con la finalidad de observar la naturaleza del sistema electrónico π conjugado. Muchas sustancias, como compuestos orgánicos, proteínas, ácidos nucleicos y algunos metales de transición tienen absorciones características en la región UV, lo que permite su identificación y cuantificación.

La espectroscopia UV se utiliza en una variedad de campos, incluyendo la química analítica, la bioquímica, la farmacia, la investigación ambiental y la ciencia de los materiales. Es una herramienta valiosa para estudiar la estructura y composición de diferentes sustancias.

Cromatografía en capa fina

La cromatografía en capa fina (TLC) es una técnica analítica y tiene como objetivo el análisis de una mezcla de componentes. En la TLC la fase estacionaria consiste en una capa delgada de un adsorbente como por ejemplo gel de sílice, depositada sobre un soporte plano como una placa de vidrio.

Debido a su simplicidad y velocidad, la TLC se utiliza a menudo para monitorear las reacciones químicas y también para el análisis cualitativo de los productos de una reacción, puesto que permite conocer de manera rápida y sencilla cuántos componentes hay en una mezcla, y tiene como ventaja proporcionar mejores separaciones y se puede elegir entre diferentes adsorbentes (Angurell, Casamitjana, Caubet, Dinares, Llor, Muñoz & Velasco, 2009).

Procedimiento

La fase estacionaria en una TLC es una lámina de vidrio, metal o plástico recubierta con una capa delgada de un sólido adsorbente (gel de sílice o alúmina). Se deposita una pequeña cantidad de la muestra problema en disolución en un punto en la parte

inferior de la placa. Posteriormente la placa se introduce en un recipiente, de forma que sólo la parte inferior de la placa queda sumergida en el líquido. Este líquido o eluyente es la fase móvil y asciende por la placa de cromatografía por capilaridad.

A medida que el eluyente pasa por el lugar donde está la mancha de la mezcla problema se establece un equilibrio entre las moléculas de cada uno de los componentes en la mezcla que son adsorbidas y las que se encuentran en disolución. Los componentes se diferenciarán en solubilidad y en la fuerza de su adsorción, de forma que unos componentes se desplazarán más que otros (Angurell, Casamitjana, Caubet, Dinares, Llor, Muñoz & Velasco, 2009).

Cuando el eluyente llega a la parte superior de la placa, esta se saca del recipiente, se seca, y los componentes separados de la mezcla se visualizan.

Visualización de las manchas

Si los compuestos son coloreados se pueden observar las manchas a simple vista. Si no es así, hay varios métodos para visualizar las manchas correspondientes a cada componente de la mezcla.

1. Utilizar luz ultravioleta para observar la placa. Normalmente se adiciona un colorante fluorescente al adsorbente, de forma que la placa sea fluorescente en todas partes excepto donde haya una mancha correspondiente a un compuesto orgánico.
2. Utilizar reveladores
3. Emplear reactivos específicos para desarrollar coloración en las manchas. Esto se puede hacer sumergiendo la placa en una disolución que los contenga o en forma de spray.

Cálculo del factor de retención R_f

Cuando son visibles, se puede determinar para cada una de las manchas el valor de R_f (factor de retención), o la distancia que cada compuesto se desplaza en la placa. Cada compuesto tiene un R_f que depende del disolvente empleado y del tipo de placa utilizada, pero es independiente del recorrido del disolvente (Angurell, Casamitjana, Caubet, Dinares, Llor, Muñoz & Velasco, 2009).

De esta manera se puede ayudar a identificar un compuesto en una mezcla al comparar su R_f con el de un compuesto conocido.

$$R_f = \frac{\text{distancia recorrida por el compuesto}}{\text{distancia recorrida por el disolvente}}$$

En general, cuanto más fuerte se une un compuesto al adsorbente de fase estacionaria, más lentamente migra hacia la placa de TLC. Como los adsorbentes de TLC son típicamente polares, los compuestos no polares tienden a viajar más rápidamente hacia arriba por la placa, lo que resulta en valores de R_f más altos, mientras que los compuestos polares tienden a moverse lentamente y tienen valores de R_f más bajos (MilliporeSigma, 2024).

Microscopía óptica

Componentes del Microscopio óptico:

La microscopía óptica nos permite conocer la microestructura de muestras biológicas e inorgánicas mediante la interacción con un haz de luz (fotones). Los aumentos vienen dados por el producto de la magnificación de los oculares con la de las lentes. Para ver las imágenes se hace uso de los microscopios ópticos (Gómez & TV 2011).

El microscopio óptico común está conformado por tres sistemas:

- El sistema mecánico constituido por una serie de piezas en las que, instaladas las lentes, permiten el movimiento para el enfoque. Y una pletina donde se coloca la muestra.
- El sistema óptico es un conjunto de lentes de tal manera que producen el aumento de las imágenes que se observan a través de ellas.
- El sistema de iluminación comprende las partes del microscopio que reflejan, transmiten y regulan la cantidad de luz necesaria para efectuar la observación a través del microscopio.

Campo Oscuro

En este método de visualización se utiliza un haz enfocado de luz muy intensa en forma de un cono hueco concentrado sobre el espécimen. El objeto iluminado dispersa la luz y se hace así visible contra el fondo oscuro que tiene detrás. Esta forma de iluminación se utiliza para analizar elementos biológicos transparentes y sin pigmento, invisibles con iluminación normal. También es muy utilizado en la observación de muestras metalográficas (metálicas o no) para la observación de detalles en superficies con alta reflectancia.

Contraste de Fases

Este sistema de visualización permite observar células sin "colorear", útil para células vivas. Aprovecha las pequeñas diferencias de los índices de refracción en las diferentes partes de una célula y en diferentes partes de una muestra de tejido. La luz que pasa por regiones de mayor índice de refracción experimenta una deflexión y queda fuera de fase con respecto al haz principal de ondas de luz que pasaron la muestra. Junta otras longitudes de onda fuera de fase por medio de una serie de anillos ópticos del objetivo y del condensador, y anula la amplitud de la

porción fuera de fase inicial del haz de luz y produce un contraste de utilidad para la obtención de la imagen. Las partes oscuras de la imagen corresponden a las porciones densas del espécimen, las partes claras de la imagen corresponden a porciones menos densas.

Luz polarizada

Son microscopios a los que se les han añadido dos polarizadores (uno entre el condensador y la muestra y el otro entre la muestra y el observador), dejando pasar únicamente la luz que vibra en un único plano (luz polarizada). Algunos compuestos inorgánicos responden al efecto de la luz, éstos tienen un alto grado de orientación cristalina, que hace que la luz que lo atraviesa pueda hacerlo en determinados planos vibratorios atómicos. Este tipo de microscopio se usa para poder identificar mejor sustancias cristalinas o fibrosas. Y en materiales metálicos e inorgánicos diferentes direcciones de cristalización.

Si se cambia el espectro de luz visible para el rango del infrarrojo o ultravioleta, se hace uso de los microscopios de IR o Fluorescencia (Gómez & TV 2011).

Técnicas de Microscopía Óptica

Microscopia de Fluorescencia

La microscopía de fluorescencia es una técnica que utiliza la capacidad de ciertas moléculas de emitir luz después de ser excitadas por una luz de longitud de onda específica. Esta técnica es utilizada en biología celular y molecular para visualizar estructuras celulares y biomoléculas, ya que permite observar muestras con alta sensibilidad y especificidad (Guerra, 2004).

Los fluorocromos son moléculas que se unen selectivamente a diferentes componentes biológicos, como proteínas, ácidos nucleicos o lípidos. Cada fluorocromo tiene propiedades de emisión y excitación únicas.

Un ejemplo bien conocido de una proteína fluorescente es la proteína verde fluorescente (GFP), que fue originalmente aislada de la medusa *Aequorea Victoria* (Guerra, 2004). La GFP y sus variantes han revolucionado la investigación biológica al permitir a los científicos observar procesos celulares en tiempo real dentro de células vivas. Otras proteínas fluorescentes, como la proteína amarilla fluorescente (YFP), la proteína roja fluorescente (RFP) y la proteína azul fluorescente (BFP), también se han desarrollado y se utilizan ampliamente para diversas aplicaciones de imagen en biología celular.

Microscopía Confocal

La microscopía confocal es una técnica avanzada de microscopía que utiliza un haz de luz láser enfocado para obtener imágenes tridimensionales de muestras biológicas con alta resolución y claridad. Utiliza un sistema óptico para enfocar un punto de luz láser en una sola sección delgada de la muestra a la vez. Esto reduce el desenfoque causado por la luz dispersa fuera del plano focal, lo que permite obtener imágenes más nítidas y claras, principalmente en muestras más gruesas o tridimensionales. La microscopía confocal se utiliza en biología celular y molecular para estudiar estructuras celulares, interacciones moleculares y dinámica celular con una alta resolución espacial y temporal.

Microscopia multifotón

La microscopía de multifotón, también llamada multifotónica o microscopía de excitación por multifotones, es una técnica avanzada de microscopía que utiliza la excitación simultánea de múltiples fotones para obtener imágenes de alta resolución de muestras biológicas en tres dimensiones, utiliza la excitación por multifotones, lo

que permite penetrar más profundamente en las muestras biológicas con menos fototoxicidad. Esta técnica es especialmente útil para estudiar muestras vivas o tejidos gruesos. La microscopía de multifotón se utiliza en biología celular y neurociencia para estudiar la morfología celular.

Microscopía de fluorescencia por reflexión interna total (TIRFM)

La TIRFM es una técnica avanzada de microscopía de fluorescencia que se utiliza para procesos que ocurren cerca de la superficie de una muestra biológica, como la membrana celular. Se utiliza un fenómeno óptico conocido como reflexión interna total, donde un haz de luz se dirige hacia la interfaz entre dos medios con diferentes índices de refracción, como el vidrio y el medio acuoso de una muestra biológica. Si el ángulo de incidencia del haz de luz es mayor que el ángulo crítico, toda la luz se reflejará internamente en lugar de transmitirse a través del medio, creando un campo de excitación fluorescente extremadamente delgado cerca de la superficie de la muestra. Este campo de excitación delgado y altamente concentrado permite la visualización de eventos fluorescentes que ocurren específicamente en o cerca de la superficie de la muestra, como la unión de moléculas fluorescentes a la membrana celular o interacciones entre proteínas en la membrana.

TIRFM proporciona imágenes de alta resolución y sensibilidad, lo que lo hace importante para procesos dinámicos en la interfaz célula-sustrato y en otras estructuras superficiales. Es utilizado en biología celular y molecular para investigar la dinámica de la membrana celular, el ensamblaje de complejos de proteínas y otros procesos biomoleculares en la interfaz celular.

Transferencia de energía por resonancia fluorescente (FRET)

Por sus siglas en inglés, Fluorescence Resonance Energy Transfer, la FRET es un fenómeno físico en el que la energía se transfiere de una molécula fluoróforo (donante) a otra (aceptora) a través de un proceso de acoplamiento no radiativo.

Esto solo ocurre cuando las dos moléculas están muy cerca entre sí, en la escala de nanómetros.

El FRET implica dos fluoróforos: uno que actúa como donante y otro como aceptor. Cuando el donante se excita con una luz de una cierta longitud de onda, emite luz fluorescente a una longitud de onda más larga. Si el aceptor está lo suficientemente cerca del donante, puede capturar esta energía excitada, lo que provoca la emisión de fluorescencia en el aceptor. Esta transferencia de energía solo ocurre si las longitudes de onda de emisión y absorción de los fluoróforos se superponen y si la distancia entre ellos es lo suficientemente corta (menos de 10 nanómetros).

El FRET se utiliza para interacciones biomoleculares, como la unión entre proteínas, cambios en proteínas, interacciones ADN-ADN y ARN-ARN, entre otros. Al observar el cambio en la fluorescencia del aceptor debido al FRET, los investigadores pueden inferir la proximidad espacial y la dinámica de las moléculas de interés en una muestra biológica.

FLIM, FRAP y FLIP

- FLIM (Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy): Técnica que mide el tiempo que una molécula fluorescente permanece en un estado excitado antes de emitir luz fluorescente. Esto proporciona información sobre las interacciones moleculares, el entorno microscópico y la dinámica de las moléculas fluorescentes en la muestra.
- FRAP (Fluorescence Recovery After Photobleaching): Técnica que se utiliza para la dinámica de las proteínas y otras moléculas en células vivas. En FRAP, una región de interés en una muestra se photobleached, lo que significa que se destruye selectivamente la fluorescencia en esa región. Luego, se sigue la recuperación de la fluorescencia en esa región a medida que las moléculas fluorescentes no blanqueadas se mueven o difunden en la región photobleached, lo que proporciona información sobre la movilidad y la tasa de intercambio de las moléculas en la muestra.

- FLIP (Fluorescence Loss In Photobleaching): Técnica complementaria a FRAP para proteínas y otras moléculas en células vivas. En FLIP, una región de interés en una muestra se photobleached repetidamente mientras se observa el efecto en la fluorescencia en otras regiones de la muestra (Guerra, 2004).

PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Se busca diseñar un sistema para la remoción de un contaminante emergente (CFX) en aguas residuales utilizando esponjas de aluminio, con el objetivo de mejorar la calidad del agua tratada y reducir la presencia de esta sustancia en el medio ambiente.

Se llevó a cabo el desarrollo del procedimiento para preparar las esponjas de aluminio asegurando su eficacia y capacidad de retención necesaria para lograr una remoción eficiente del contaminante.

Se van a generar las esponjas en dos soluciones, dos de las esponjas en una solución de NaCl y otras dos en una solución de NaOH, durante este proceso se realizarán pruebas en el laboratorio del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco para evaluar las esponjas de aluminio, y en un medio de agua residual sintética ponerlas a reaccionar de modo que logren adsorber el CE en este caso la CFX.

Se llevará a cabo una investigación detallada, con el fin de lograr el objetivo de remover el contaminante emergente, es fundamental entender las propiedades fisicoquímicas de la CFX y las características de las aguas residuales en las que se encuentran presente. Esto incluye su solubilidad, pH, concentración inicial, entre otros factores que puedan influir en su remoción.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Diagrama del experimento

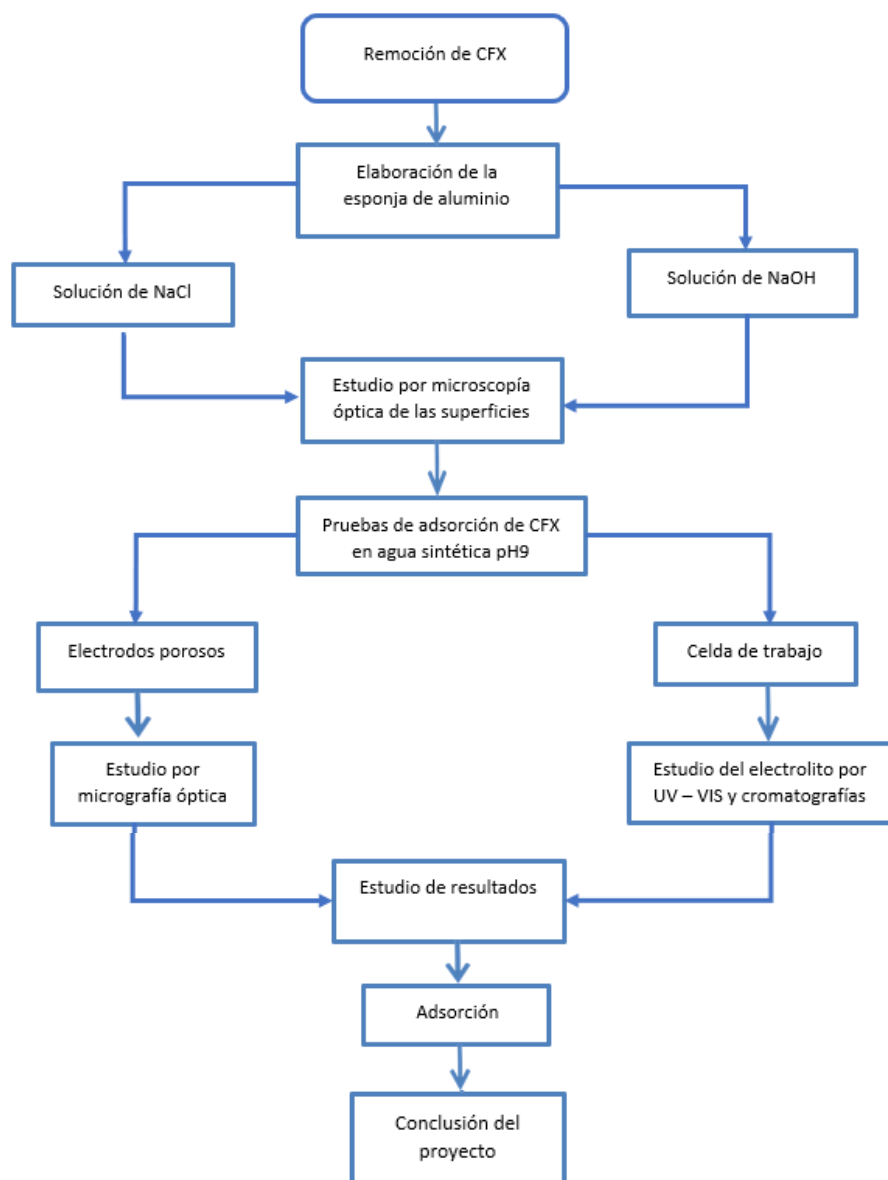


Figura 14. Representación gráfica de la metodología de este trabajo. (Elaboración propia)

A continuación, se muestra en forma de diagrama la metodología del estudio. Donde se observa que primero se realizaron superficies porosas de aluminio en dos medios diferentes: en solución de NaOH y otra en solución de NaCl, una vez obtenidas las superficies porosas, se realizaron las pruebas de adsorción de la CFX en un agua sintética, posteriormente, se estudiaron tanto la superficie metálica después del tratamiento, como la solución de la cual se recuperó la CFX, para finalmente, mostrar los resultados.

MÉTODOS

Preparación de los materiales para la obtención de la superficie porosa de aluminio

El material empleado fue aluminio, mismo que se adquirió en varilla cilíndrica de 0.5 cm de diámetro. Para la construcción del electrodo de trabajo se cortaron muestras de 2.5 cm de longitud (probetas). Se ranuró uno de los extremos para colocar un cable de cobre. Posteriormente se encapsularon con resina epóxica comercial y se dejó expuesta la superficie en un extremo (0.28 cm^2). Para cada experimento la superficie de trabajo se pulió con papel lija grado 120, 240, 320 y 600, se lavó con agua destilada y se secó a la intemperie.

Se prepararon las soluciones de NaCl (Cloruro de Sodio) y NaOH (Hidróxido de Sodio) a 0.5 M. Se pesaron 7.31 g de NaOH y se aforó 250 mL en agua destilada, para el NaCl se pesaron 5 g y se aforó en 250 mL de agua destilada.



Figura 15. Preparación de la solución 0.5 M de NaCl para la obtención de la superficie porosa de aluminio.

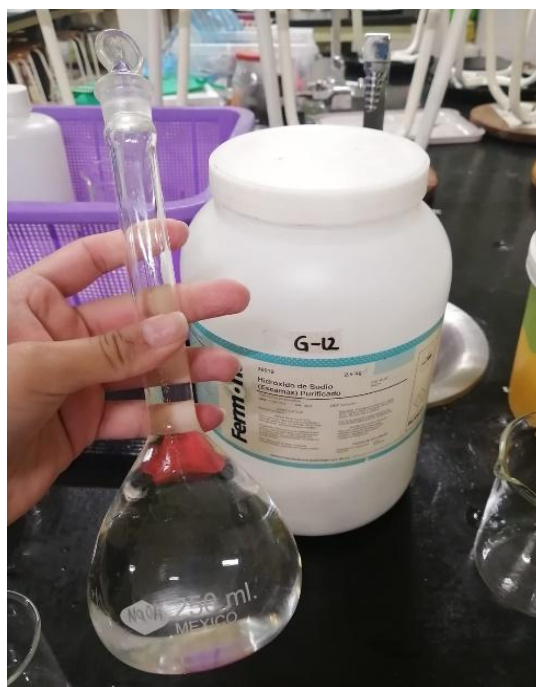


Figura 16. Preparación de la solución 0.5 M de NaOH como electrolito para la obtención de la superficie porosa de aluminio.

Se utilizó un voltímetro, un convertidor de voltaje y un potenciómetro de 100 K, el cual se fue monitoreando manualmente para alcanzar el voltaje óptimo. Los parámetros para la medición de las pruebas fueron de un rango de 1000 V a 200 mA, aplicando voltaje directo a un potencial de 2000 m para medir la polaridad del electrodo de trabajo de -460 mV. La celda de trabajo para la elaboración de los poros en la superficie del electrodo de aluminio fue de 50 mL. Las pruebas fueron realizadas a temperatura ambiente y en estado estacionario. De acuerdo con lo reportado por Kaesche (Kaesche, 1974).

Arreglo de la celda de trabajo para la elaboración de los poros en el electrodo de aluminio.

La solución de trabajo se preparó con 0.5 M de NaCl en agua destilada, en un volumen de 50 mL. Se acopló una celda de tres electrodos:

- 1) Electrodo de referencia de Ag/AgCl,
- 2) Contraelectrodo de grafito y
- 3) Electrodo de trabajo.

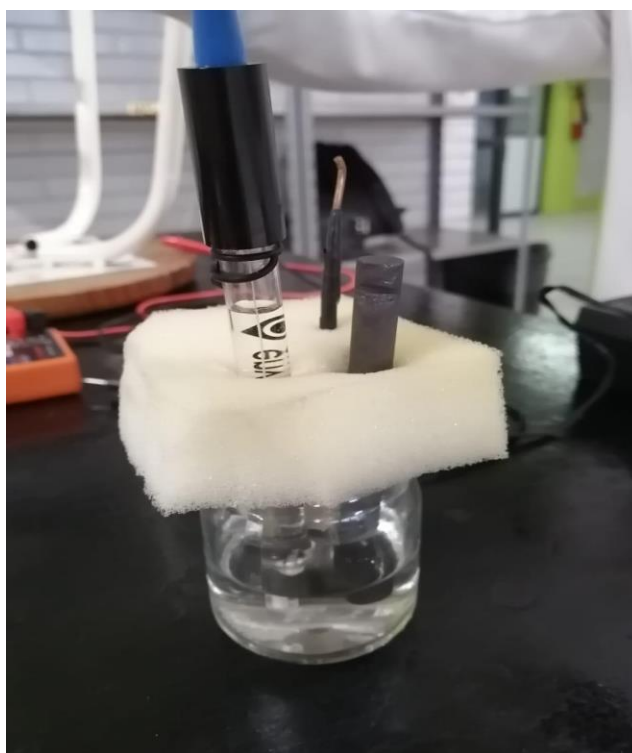


Figura 17. Montaje de la celda utilizada para las pruebas electroquímicas.

Cada experimento se dejó 60 minutos a circuito abierto. El mismo procedimiento se siguió con la solución de NaOH.

Tratamiento del agua residual sintética

Una vez obtenidas las esponjas de aluminio con las dos soluciones diferentes (NaCl y NaOH), estas superficies fueron utilizadas para la remoción de la CFX en un agua residual sintética.

La preparación de agua residual sintética se llevó a cabo preparando una solución stock de CFX con una concentración de 500 ppm. La cual se preparó pesando 10 mg de CFX en forma farmacéutica (cápsula), y se aforó con agua destilada en 25 mL. Posteriormente, esta solución se utilizó para preparar las concentraciones de CFX en el agua residual sintética en concentraciones de 20 ppm utilizando la fórmula:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Donde la concentración (C_1) representa la concentración de la solución stock de 500 ppm. La concentración dos es la concentración deseada para el agua residual sintética, el volumen 2 (C_2) es el volumen de la celda de trabajo del agua residual sintética. Por tanto, la única incógnita es el volumen uno (V_1) que es la cantidad en mL que se debe adicionar a la celda de trabajo para obtener una concentración de CFX en este caso de 20 ppm en un volumen total de 50 mL.

El agua residual utilizada como electrolito se trabajó a un pH de 9, la cual se ajustó con NaOH con 20 ppm de CFX.



Figura 18. Montaje de la celda utilizada para la prueba electroquímica.

La parte residual después de la prueba de NaCl y CFX, NaOH y CFX respectivamente, se visualizaron a través de una cromatografía en capa fina, empleando tres reveladores: ninhidrina, verde de bromocresol y permanganato de potasio.

Sobre la placa se marcó una línea de origen a una distancia del borde inferior (aproximadamente 5 mm), y se marcaron los puntos donde se aplicarían las muestras.

Se tomó 0.1 g de extracto de CFX al 500 ppm y se disolvió en 1 mL de acetona, con la ayuda de un capilar se aplicaron tres puntos de esta solución en una placa cromatográfica de 2 x 5 cm, en donde el primer punto era la CFX concentrada, el segundo punto el residuo de la esponja con NaCl, y el tercer punto con residuo de la esponja con NaOH.

La placa cromatográfica se corrió en un medio de Acetona, cuidadosamente de modo que no se saturara permitiendo que el solvente ascendiera por la placa por capilaridad hasta una altura de aproximadamente 5 mm, a continuación, se retira la placa del desarrollador y se dejó secar completamente al aire.

Se visualizó la placa con tres reveladores diferentes: Ninhidrina, verde de bromocresol y permanganato de potasio, posteriormente se marcó cada placa señalando las manchas resultantes de CFX.

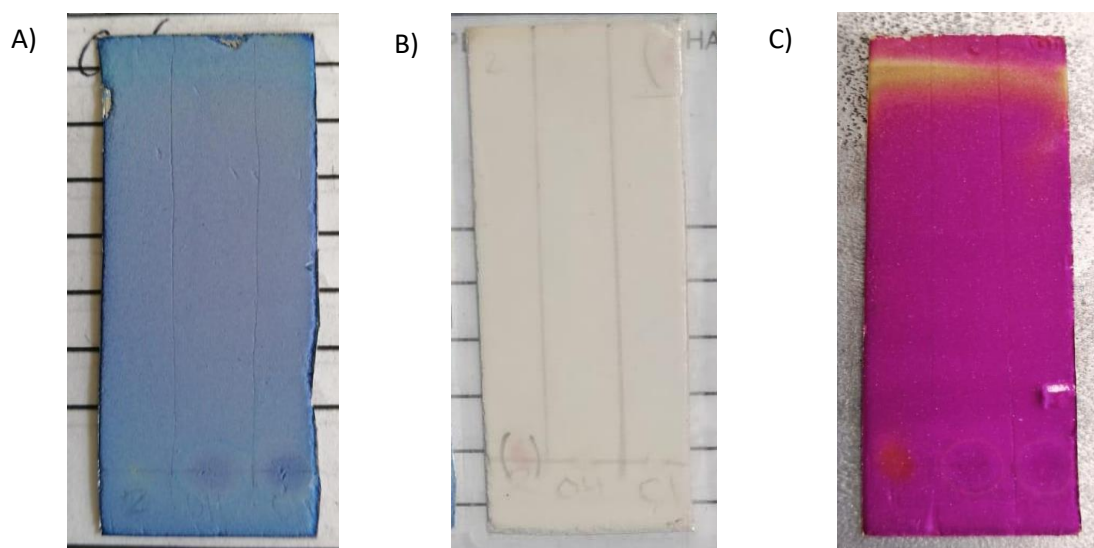


Figura 19. Prueba 1, placas cromatográficas de CFX reveladas con: A) Verde de bromocresol B) Ninhidrina C) Permanganato de potasio

Cromatografía en Capa Fina (TLC)

Se emplearon las placas cromatográficas para encontrar CFX en aguas residuales simuladas, y se muestra que el revelado con ninhidrina, verde de bromocresol y permanganato de potasio, evidenciando que no hay rastro del CFX en las placas.

Las TLC obtenidas en la prueba 1 para la CFX con acetona revelaron solo una mancha del lado del reactivo, y del lado del residuo no aparece marca de manchas de residuo al revelar con verde de bromocresol (Figura 19 A), en el caso de la ninhidrina se observa una mancha del residuo, mismo caso con el permanganato de potasio.

En la prueba 2 para la CFX con acetona revelaron una mancha del lado del reactivo, (Figura 20) y del lado del residuo no hay rastros de CFX.

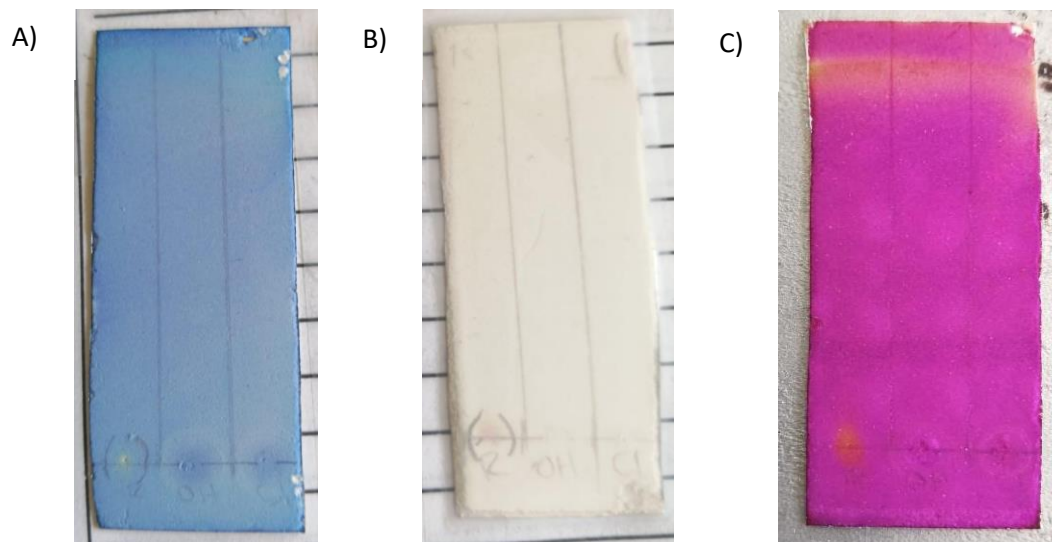


Figura 20. Prueba 2, placas cromatográficas de CFX reveladas con: A) Verde de bromocresol B) Ninhidrina C) Permanganato de potasio

Espectroscopia de luz Ultravioleta

Las pruebas de espectrofotometría de ultravioleta UV-Vis se obtuvieron con un espectrofotómetro marca HACH modelo DR-6000. Después de tratarse las pruebas electroquímicas se analiza el electrolito trabajado a un rango de longitud de onda de 200 nm a 500 nm. Del laboratorio de Tecnología ambiental de la Universidad Politécnica del Estado de Morelos.

Micrografías ópticas.

Además, para conocer el análisis visual de las probetas de aluminio tras utilizarse en las pruebas potencioestáticas, se obtuvieron micrografías ópticas de las

superficies del electrodo de aluminio, las imágenes se obtuvieron con un microscopio metalúrgico invertido de la marca CIENEC, modelo MJ6409 a 20 y 40 aumentos, ubicado en laboratorio de materiales dependiente del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, las superficies de las esponjas de aluminio después del tratamiento con CFX, fueron observadas por micrografías ópticas que se realizaron con un microscopio óptico multisensor 3D. Modelo Smartcope, Flash 500, con software Measure Mind 3D, versión 15, OGP a 52.9x aumentos, para obtener una comparación entre ellas, (Figuras 24, 25, 26 y 27).

En este estudio se seleccionó un representante de las familias de contaminantes emergentes: un compuesto betalactámico, la CFX, que es un compuesto antibacteriano, porque su presencia en el ambiente favorece la resistencia bacteriana a los antibióticos en los seres humanos.

RESULTADOS

Obtención de las esponjas de aluminio

Los electrodos de aluminio fueron expuestos en primeramente a un sistema que favoreciera la corrosión por picadura, de modo que permitiera la generación de la superficie porosa, propuesta para su posterior utilización para la adsorción de la CFX. Se utilizaron dos condiciones reportadas por Kaesche en 1974, donde menciona que la corrosión por picadura del aluminio se lleva a cabo tanto en presencia de NaOH y en NaCl aun potencial de -460 mV. Por tanto, a continuación, se muestran los resultados de la formación de picaduras en los electrodos de aluminio.

En la Figura 21 se muestra una micrografía de 40 aumentos de la superficie de aluminio pulida con lija grado 600 antes de realizar las esponjas. Donde se aprecian las rayaduras del papel lija, sin embargo, la superficie aparece con brillo debido a la presencia del metal puro.

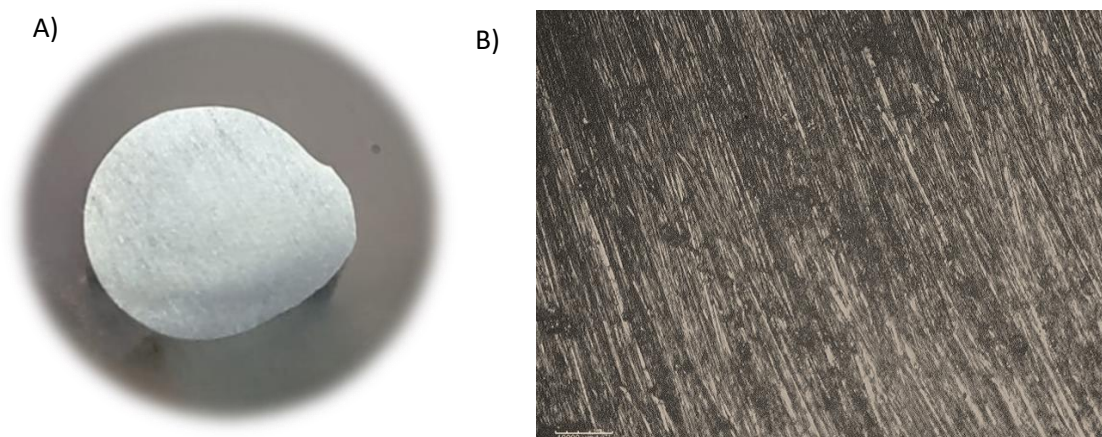


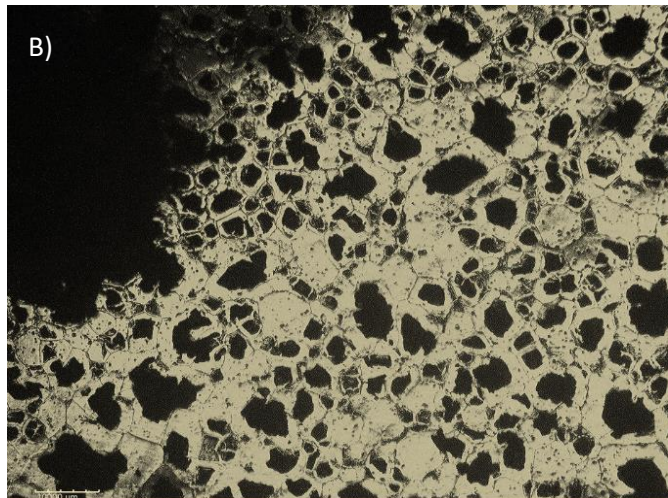
Figura 21. A) Superficie a simple vista del electrodo de aluminio, B) Imagen a 40 aumentos de la superficie del electrodo de aluminio antes del tratamiento para generación de la esponja.

La Figura 22 muestra una de las probetas que fueron inducidas a corrosión por picadura en la solución de NaOH en la parte A se observa el aspecto del electrodo a simple vista se distingue claramente que la superficie del metal no es homogénea y que está cubierta con productos de corrosión de aspecto irregular. Al recorrer la superficie del material en el microscopio, se observó la presencia de zonas, distribuidas en toda la muestra, que presentaban una tonalidad más oscura que el resto de la superficie y en la Figura 22 B se presenta la micrografía óptica a 40 aumentos, donde fácilmente se observa la corrosión localizada, donde las picaduras más grandes están en un rango de 500 micrómetros y las picaduras más pequeñas en un rango de 51500 micrómetros, dando como promedio un tamaño de 2902 micrómetros en la corrosión localizada en presencia de NaOH 0.5 M. Los resultados se presentan en el Anexo II y Anexo IV. Además, en las figuras 22 B y 22 C se observan los límites de grano de la superficie. por lo que se puede observar que, en la corrosión localizada con esta solución, los tamaños de los granos influyeron en el tamaño de las picaduras.

A)



B)



c)

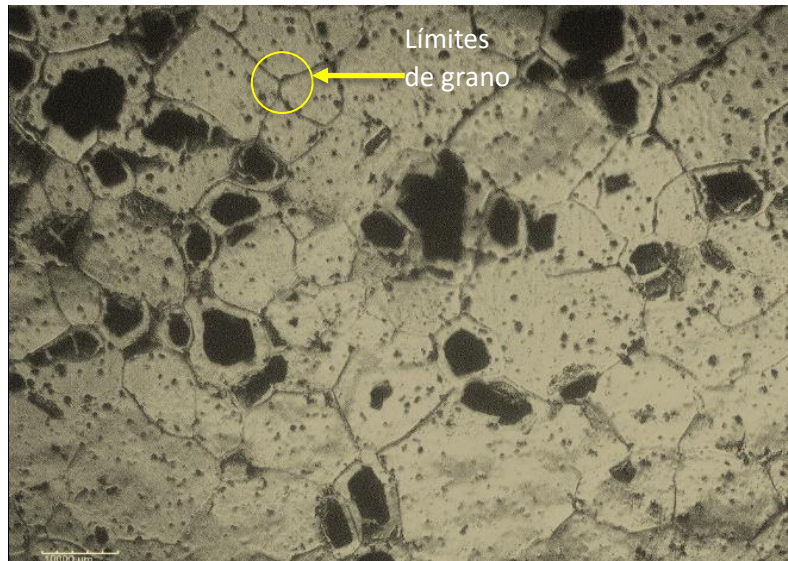


Figura 22. Aspecto final de la probeta de aluminio después del tratamiento por corrosión localizada con solución de NaOH y potencial de -460 mV en un lapso de 70 minutos a temperatura ambiente. A) superficie de la probeta a simple vista, B) y C) micrografía óptica de diferentes zonas de la misma superficie a 40 aumentos.

En el caso de la esponja de aluminio en presencia de cloruros (NaCl), se puede notar en la Figura 23 que las picaduras parecen con menor profundidad y mayor cantidad, pero menor diámetro. Además, se nota que, en este medio, las picaduras sufren nucleación, es decir, cuando una picadura comienza a crecer y se une con otra picadura cercana. Por tanto, en la imagen a simple vista del electrodo, se observa mayor rugosidad en las superficies en comparación con la superficie en NaOH. las picaduras más grandes están en un rango de 19500 micrómetros y las picaduras más pequeñas en un rango de 2500 micrómetros, dando como promedio un tamaño de 7603 micrómetros en la corrosión localizada en presencia de NaCl 0.5 M. Los resultados se presentan en el Anexo I y Anexo III.

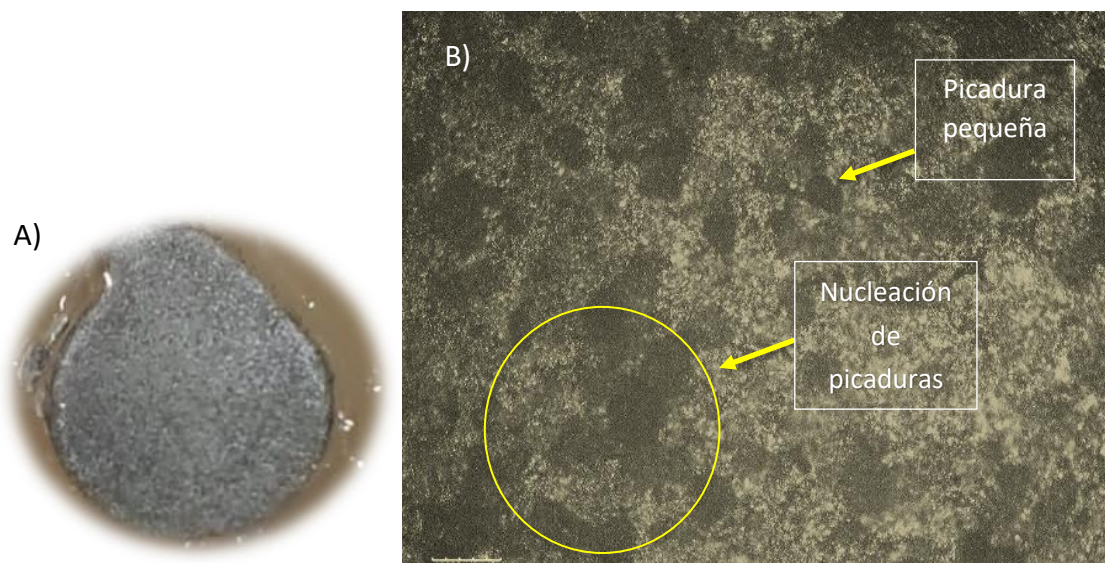


Figura 23. Aspecto final de la probeta de aluminio después del tratamiento por corrosión localizada con solución de NaCl y potencial de -460 mV en un lapso de 70 minutos a temperatura ambiente. A) Superficie de la probeta a simple vista, B) Micrografía óptica de la misma superficie a 40 aumentos.

Por lo tanto, se observa que en ambas superficies esponjosas se muestra un buen número de cavidades y no se observan productos de corrosión que formen una capa pasiva de óxidos, lo cual permite emplearlas como adsorbente poroso para la extracción de CFX.

Pruebas electroquímicas para la remoción de CFX.

Las pruebas de remoción de CFX en el agua residual sintética se llevaron a cabo con las esponjas de aluminio generadas por corrosión por picadura descritas anteriormente. Las esponjas de aluminio fueron sumergidas en la solución del agua sintética en presencia de 20 ppm de CFX a temperatura ambiente y se aplicó nuevamente un potencial, en este caso, para la remoción se utilizó una celda con un pH de 9 y un potencial fijo de +310 (± 10 mV). Por un lapso de 60 minutos. En la

figura siguiente (Figura 24), se observa en el caso de la esponja de aluminio NaOH incrustaciones de cristales blancos en algunos poros.

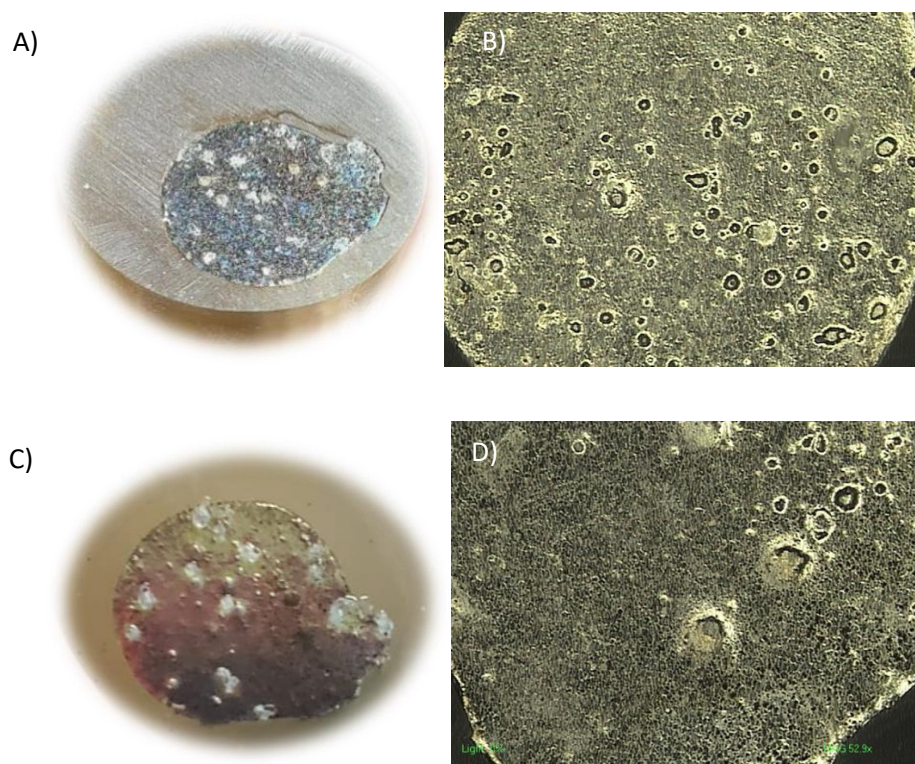


Figura 24. Esponja de aluminio generada en solución de NaOH, después del tratamiento de remoción de CFX en agua residual sintética a pH 9. A) y C) Superficie de la probeta a simple vista, B) y D) Micrografías ópticas de la misma superficie a 52.9x aumentos.

Mismo caso con las esponjas de aluminio NaCl fueron sumergidas en la solución del agua sintética en presencia de 20 ppm de CFX a temperatura ambiente y se aplicó nuevamente un potencial, en este caso, para la remoción se utilizó una celda con un pH de 9 y un potencial fijo de +310 (± 10 mV) por un lapso de 60 minutos. En la Figura 25 A y C, a simple vista se observan incrustaciones de cristales blancos en algunos poros de la esponja de aluminio NaCl.

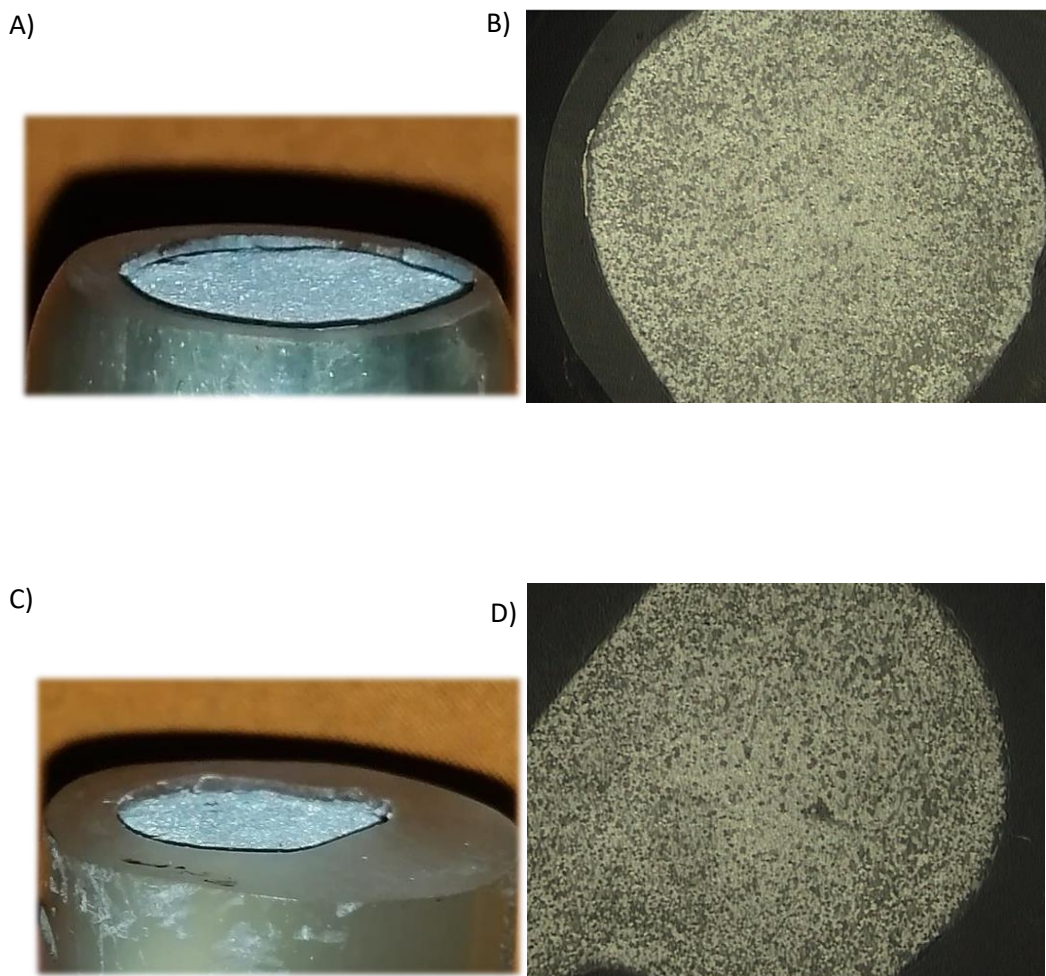


Figura 25. Esponja de aluminio generada en solución de NaCl, después del tratamiento de remoción de CFX en agua residual sintética a pH 9. A) y C) Superficie de la probeta a simple vista, B) y D) Micrografía óptica de la misma superficie a 20 aumentos.

Comparación de las esponjas de aluminio antes y después del contacto con CFX

En la Figura 26 se muestra la comparación de dos micrografías de dos esponjas de aluminio. En la Figura 26 A se observa la micrografía de la esponja NaCl antes del contacto con CFX, en la parte 26 B, después del contacto con CFX, se puede apreciar que existe una película con un contraste amarillo que recubre las superficies de la esponja generando delgadas líneas en orientación vertical que

brillan incluso entre las zonas más profundas de las picaduras, y generando pequeños aglomeramientos circulares donde se muestra mayor contraste. Por lo que en esta comparación se atribuye la generación de la película debida a la adsorción de la CFX sobre el aluminio en la superficie rugosa de la esponja.

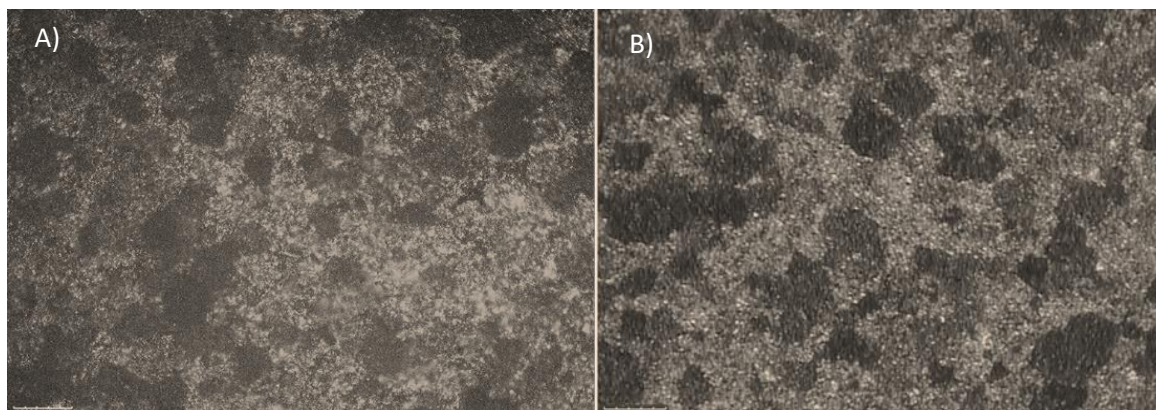


Figura 26. Comparación de la esponja de aluminio en NaCl. Micrografías a 40 aumentos. A) Antes del tratamiento con CFX y B) Después del tratamiento con CFX.

Adicionalmente, la comparación antes y después de la superficie de la esponja de aluminio obtenida de solución de NaOH, muestra que las cavidades grandes funcionaron como depósitos de CFX formando cristales, y que, a su vez, en las picaduras pequeñas también muestran rellenas de CFX. De la misma manera, se observa un recubrimiento de una película uniforme con patrones con líneas horizontales, a lo cual se puede atribuir que la CFX se adsorbe sobre la superficie de aluminio teniendo interacción también entre mismas moléculas de CFX de su alrededor.

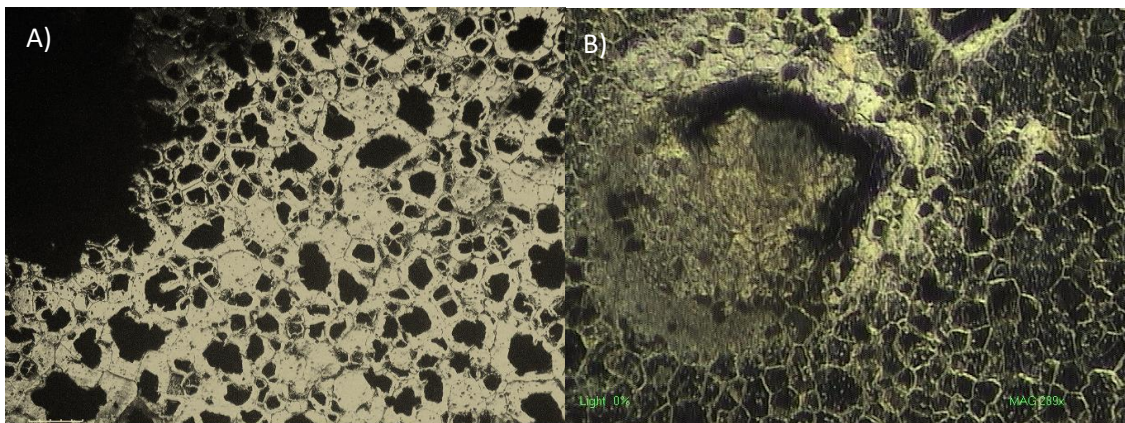


Figura 27. Comparación de la esponja de aluminio en NaOH. Micrografías a 40 aumentos. A) Superficie antes del tratamiento con CFX y B) Superficie después del tratamiento con CFX.

Cabe mencionar que durante la obtención de las micrografías con CFX, las superficies brillaban por sí solas, por lo que estas fueron tomadas sin necesidad de aplicar la luz de la lámpara del equipo. Lo que se consideró relevante para los análisis con luz UV en TLC y en espectrofotometría de luz UV visible.

Análisis del agua residual después del tratamiento electroquímico.

En la siguiente figura (Figura 28), se puede apreciar la comparación de la identificación de compuestos en la celda del agua residual después del tratamiento, donde en la Figura 28 A, se muestra la placa cromatográfica revelada en luz UV de longitud de onda corta con un la CFX como referencia del lado izquierdo y del lado derecho con una muestra del agua residual sintética. Sin embargo, en esta longitud de onda corta sólo se observa el punto de la CFX, mientras que ningún compuesto de la celda del agua sintética tratada es observable. En cambio, la misma placa Figura 28 B sí revela manchas brillantes en luz ultravioleta de longitud de onda larga. Por tanto, es posible identificar que existe un compuesto ligeramente menos polar en la celda después del tratamiento que no es CFX. Además, debido a que en la Figura 28 A no se observa ninguna otra mancha a parte de la CFX de referencia, se

puede asumir que la CFX sufrió un cambio en su totalidad y que no quedaron trazas de este antibiótico en el agua residual después del tratamiento. Finalmente, la Figura 28 C, muestra la referencia del lado izquierdo (CFX) y del lado derecho los cristales depositados en la superficie de la CFX. Donde se observa de la misma manera, una mancha brillante a la misma altura del compuesto encontrado en el agua de la celda.

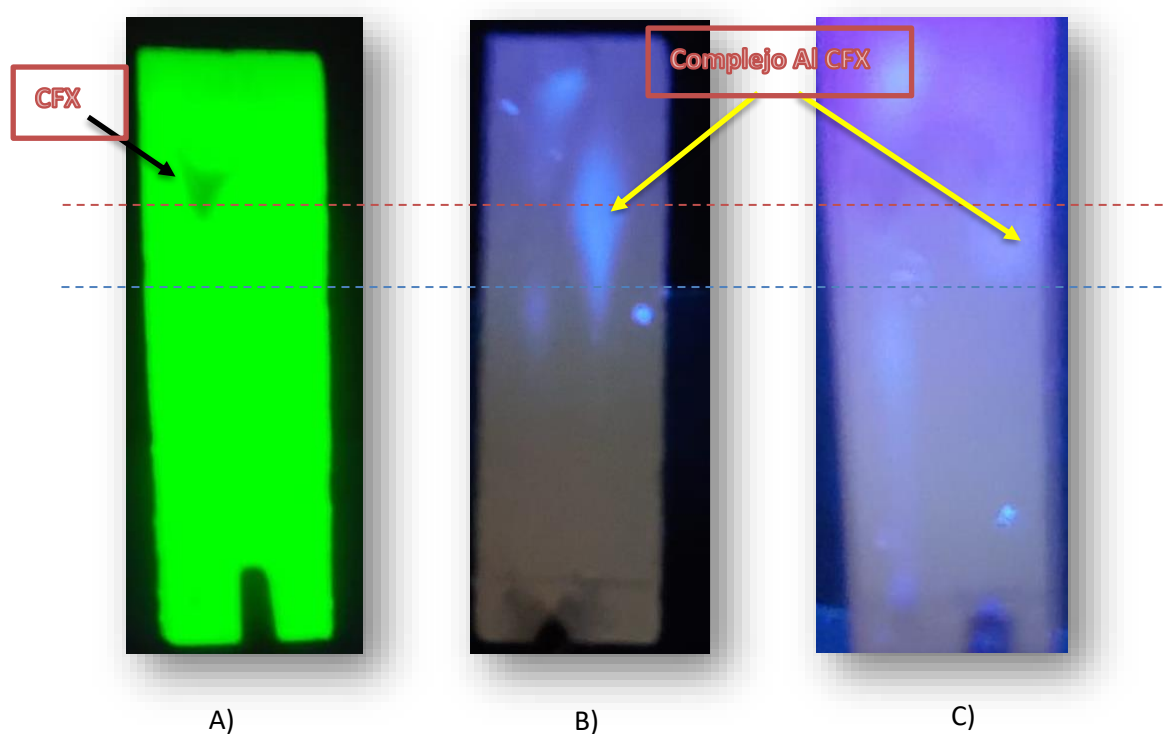


Figura 28. Placas cromatográficas (Hex:Me,8:2) A) Longitud de onda corta CFX, B) Longitud de onda larga CFX y agua residual sintética después del tratamiento; C) Cristales depositados sobre la superficie del electrodo, reveladas en longitud de onda larga.

La técnica de cromatografía nos permite ver entonces, que se generó un compuesto nuevo al reaccionar en su totalidad en el tratamiento con la esponja de aluminio. Además, tanto el componente de la superficie de aluminio y el agua residual muestran la mancha en el mismo nivel de la placa, por lo que se puede asumir que una parte de la CFX reaccionó y se depositó en los huecos del electrodo y otra parte quedó disuelta en el agua.

Adicionalmente, se muestra el espectro de luz ultravioleta de las muestras donde se puede observar un pico negativo en la longitud de onda de 280 nm, este efecto es presentado en las moléculas que presentan efectos electrocromáticos (Acebes, 1999), es decir, que absorben la luz en determinada longitud de onda y la reflejan en otra. Además, Haiming *et. al* reportaron en el año 2021, un complejo de aluminio con propiedades fotocromáticas generado a partir de la oxidación de aluminio mediante técnicas electroquímicas, donde en ciertas longitudes de onda observó picos de intensidad negativos en los espectros de luz UV. (Haiming *et. al*, 2021). Lo cual corrobora por qué en las placas cromatográficas en la longitud de onda corta (alrededor de 280 nm) se aprecia la marca luminosa de la CFX y por qué en la placa revelada con la luz UV de onda larga (alrededor de 320 nm) es posible identificar el compuesto formado después del tratamiento.

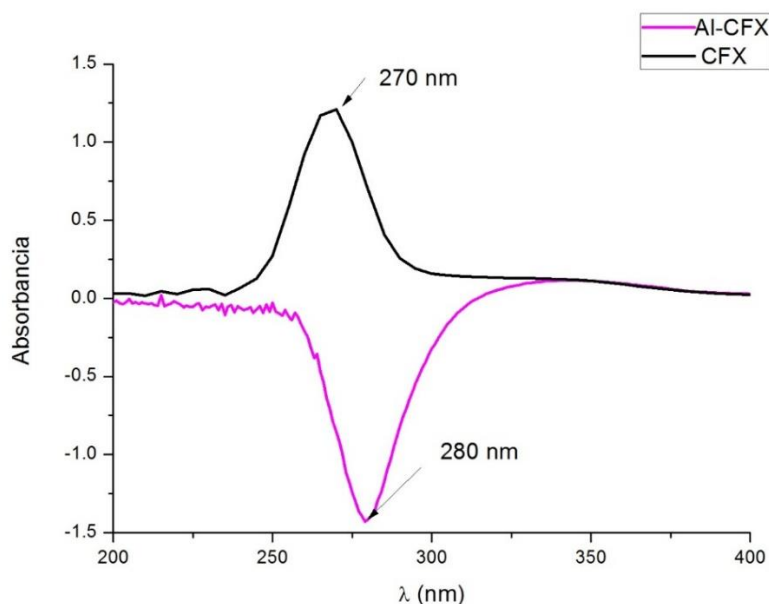


Figura 29. Espectro de luz UV comparativo de la CFX antes (línea negra) y después del tratamiento electroquímico con esponja de aluminio (línea rosa).

Por tanto, las pruebas tanto de la celda como de la superficie comprueban la interacción entre el aluminio y la CFX formando un nuevo complejo que se distingue por sus propiedades electrocrómicas, es decir, un cambio de color debido a un proceso de transferencia de electrones por óxido-reducción, donde los orbitales moleculares HOMO y LUMO tanto de la CFX como del aluminio están disponibles para que los electrones emigren en un estado excitado sin comprometer la ruptura de enlaces de la molécula. Lo que hace suponer que existe una adsorción fuerte entre el metal y los sitios ricos en electronegatividad de la molécula de CFX, que pueden ser debidos a los átomos de oxígeno, que debido al pH 9 se mantienen con carga negativa.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Esta tesis se centra en investigar la eficacia de la esponja de aluminio para eliminar un contaminante emergente específico de las aguas residuales.

Se realizaron experimentos de laboratorio utilizando aguas residuales simuladas con concentraciones controladas del contaminante objetivo (CFX).

La eficacia de la esponja de aluminio para eliminar el contaminante se evaluó en ciertas condiciones experimentales, como el tiempo de contacto, la concentración inicial del contaminante y el pH.

Se generaron dos superficies rugosas de aluminio en diferentes soluciones, donde la esponja en solución de NaCl mostró nucleación de picaduras con un diámetro pequeño y las esponjas obtenidas en NaOH mostraron tener un patrón dependiente del tamaño de los granos de la probeta.

En cuanto al tratamiento del agua residual sintética con las esponjas generadas, los resultados demuestran que las esponjas de aluminio son efectivas para remover el contaminante emergente estudiado ya que en ambos casos se observa que la superficie de las probetas es recubierta generando líneas con un patrón vertical y en el caso de las picaduras de las probetas de NaOH, funcionaron como cavidades de depósito de la CFX. Además, las pruebas de TLC con revelador de Luz UV permitieron identificar un nuevo compuesto, que se corroboró con el cambio del pico de absorbancia obtenido en el espectro de luz UV visible, donde se logró observar el efecto electrocrómico del complejo formado entre la interacción de CFX y aluminio debido a la transferencia de electrones.

Recomendaciones y sugerencias para trabajos futuros

Estos hallazgos sugieren que la esponja de aluminio tiene un potencial significativo como material adsorbente en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con compuestos emergentes como lo es la CFX. Su aplicación puede contribuir a mejorar la calidad del agua y mitigar los riesgos ambientales y de salud pública asociados con estos contaminantes. Sin embargo, se requieren más estudios para validar su viabilidad a mayor escala y para diferentes contaminantes emergentes. Una comprensión más profunda de los mecanismos de adsorción también podría allanar el camino para la mejora y optimización de procesos en futuros esfuerzos de investigación.

Por tanto, se sugiere que este trabajo se continúe, y realice lo siguiente:

- Estudio y caracterización del compuesto formado CFX-Al
- Estudio del proceso de adsorción de la CFX con isothermas de adsorción
- Cálculos químico-cuánticos de las energías de los orbitales moleculares responsables del electrocromismo.
- Estudio cuantitativo de la eficacia en la adsorción del contaminante emergente.
- Estandarización del tratamiento electroquímico de adsorción para su posterior implementación como alternativa de remediación de aguas residuales que contengan contaminantes emergentes.
- Realizar el análisis comparativo con las mismas escalas para las micrografías ópticas.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

- Investigación científica: Se adquirieron habilidades en la formulación de preguntas de investigación, diseño experimental, recopilación y análisis de datos, así como en la interpretación de resultados.
- Conocimiento especializado en tratamiento de aguas residuales: Se profundizó el conocimiento de técnicas de tratamiento de aguas residuales, particularmente en la remoción de un contaminante emergente.
- Habilidades experimentales: Se desarrollaron habilidades en la manipulación de equipos de laboratorio, preparación de muestras, y realización de experimentos siguiendo protocolos específicos.
- Análisis de datos: Se adquirió experiencia en el manejo de datos experimentales, incluyendo análisis estadístico y utilización de software especializado para el análisis de resultados.
- Comunicación científica: Se desarrollaron habilidades en la redacción de informes científicos claros y concisos.
- Resolución de problemas: Durante el desarrollo de la tesis, se enfrentaron diversos desafíos y problemas, lo que me permitió desarrollar habilidades en la resolución de problemas de manera creativa y efectiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acebes, A. F. (1999). Materiales orgánicos fotocromicos. Análisis de Química de la RSEQ, (3), 13-18.
- Acero, JL, Benítez, FJ, Real, FJ y Teva, F. (2012). Acoplamiento de procesos de adsorción, coagulación y ultrafiltración para la eliminación de contaminantes emergentes en un efluente secundario. Revista de Ingeniería Química, 210, 1-8.
- Allaoui, M., Schmitz, T., Campbell, D., Andre de la Porte, C., 2015. In: Programme UNE (Ed.), Good Practices for Regulating Wastewater Treatment: Legislation, Policies and Standards.
- Álvarez Gutiérrez, N. (2016). Procesos de adsorción para la captura de CO₂ en corrientes de biogás.
- Alves, M. L., Ferreira, B. B., & Leta, F. R. (2011). Evaluación de parámetros de rugosidad usando análisis de imágenes de diferentes microscopios ópticos y electrónicos. Información tecnológica, 22(4), 129-146.
- Angurell, I., Casamitjana, N., Caubet, A., Dinares, I., Llor, N., Muñoz, D., & Velasco, D. (2009). Operaciones básicas en el laboratorio de química. Universat de Barcelona.
- Bangari, R. S., & Sinha, N. (2019). Adsorption of tetracycline, ofloxacin and cephalexin antibiotics on boron nitride nanosheets from aqueous solution. *Journal of Molecular Liquids*, 293.
- Baquero, F., Martínez, J. L., & Cantón, R. (2008). Antibiotics and antibiotic resistance in water environments. Current opinion in biotechnology, 19(3), 260-265.
- H. R. Pouretedal, y N. Sadegh, "Effective removal of Amoxicillin, Cephalexin, Tetracycline and Penicillin G from aqueous solutions using activated carbon nanoparticles prepared from vine wood", J. Water Process Eng., vol. 1, pp. 64–73, 2014, doi: 10.1016/j.jwpe.2014.03.006.
- R. S. C. Sierra, H. Zúñiga-Benítez, y G. A. Peñuela, "Experimental data on antibiotic cephalexin removal using hydrogen peroxide and simulated sunlight radiation at lab scale: Effects of pH and H₂O₂", Data Brief, vol. 30, p. 105437, 2020, doi: 10.1016/j.dib.2020.105437.
- Bolong, N., Ismail, AF, Salim, MR y Matsuura, T. (2009). Una revisión de los efectos de los contaminantes emergentes en las aguas residuales y las opciones para su eliminación. Desalación, 239 (1-3), 229-246.
- Carrera García, G. D. R., & Infante Torres, E. R. (2015). Influencia del pH, concentración de coagulante y floculante en la remoción de solidos

suspendidos, demanda química de oxígeno y turbidez en efluente de lavado de pulpa de la Planta Papelera Trupal SA.

Castrillón Bedoya, D., & Giraldo, M. D. L. Á. (2012). Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo b en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de Villa Santana.

CICILEO, G., GASSA, L., Pontoriero, F. P., & Chichizola, S. E. Corrosión de aleaciones de aluminio de aplicación aeroespacial. In Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Metalurgia y Materiales 2013.

Correia, A., & Marcano, L. (2015). Presencia y eliminación de compuestos farmacéuticos en plantas de tratamientos de aguas residuales: Revisión a nivel mundial y perspectiva nacional. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 55(1), 1-18.

Cruz Cruz, EM, & Sánchez Domínguez, E. (2010). Cálculo de propiedades moleculares de 5 cefalosporinas: cefradina, cefalexina, cefadroxilo, cefprozilo y ceftobiprole. *MediSur*, 8 (5), 17-25. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180016117003>

Deissmann, Guido & Haneke, Kirsten & Filby & Wieggers, Rob. (2016). Corrosion behaviour of spent research reactor fuel under OPERA repository conditions

Díaz Díaz, F. (2020). Remoción de fármacos emergentes en aguas residuales mediante un biorreactor con biomasa inmovilizada acoplado a un sistema de filtración con membranas sumergidas (Master's thesis).

Díaz, N. A., Ruiz, J. A. B., Reyes, E. F., Cejudo, A. G., Novo, J. J., Peinado, J. P., & Fiñana, I. T. (2010). Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Universidad de Córdoba, 1-8.

Durán Ortiz, C. Y. (2021). Planteamiento De Un Sistema De Prefiltrado A Través De Mallas Geotextiles En Procesos De Ósmosis Inversa: Una Solución Para La Salinización En Cuerpos De Agua Costeros.

Fernández, P., Martínez, V., Valencia, M., & Cruz, J. (2006). Aplicaciones de los materiales compuestos de matriz metálica en el sector eléctrico y electrónico. *Dyna*, 73(149), 131-140.

García Herrera, G. A. (2018). La isla de calor en la zona urbana de la ciudad de Guayaquil, mediante Sistemas de Información Geográfica y Teledetección (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil).

Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción más limpia*, 7(2), 52-73.

Gogate, Parag y Pandit, Aniruddha. Una revisión de tecnologías imperativas para el tratamiento de aguas residuales I: tecnologías de oxidación en condiciones

- ambientales. En: Avances en la Investigación Ambiental. 2004. vol. 8. pág. 501-551
- Gómez, J. M., & TV, S. (2011). Microscopio óptico: componentes, enfoque y cuidado.
- Guerra, F. J. D. (2004). Técnicas de microscopía óptica. *Arbor*, 177(698), 225-258.
- H. Kaur, G. Hippargi, G. R. Pophali, y A. K. Bansiwali, "Treatment methods for removal of pharmaceuticals and personal care products from domestic wastewater", *Pharmaceuticals and Personal Care Products: Waste Management and Treatment Technology*, (pp. 129–150). Elsevier, 2019. doi: 10.1016/B978-0-12-816189-0.00006-8.
- Herman TF, Hashmi MF. Cephalexin. [Updated 2023 Aug 17]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK549780/>
- Hernández-Quiroz, M., Ruiz-Meza, D., Rojo-Callejas, F., & Ponce de León-Hill, C. (2019). Determinación de la distribución de contaminantes emergentes en agua intersticial en sedimentos de humedal mediante la optimización y validación de un método analítico. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(2), 407-419.
- Homem, V., & Santos, L. (2011). Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices—a review. *Journal of environmental management*, 92(10), 2304-2347.
- Hufnagel, W. (1992). Manual del aluminio. Reverté.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, (2018, 16 de noviembre). El desafío de los contaminantes emergentes. <https://www.gob.mx/imta/articulos/el-desafio-de-los-contaminantes-emergentes>
- J. He, Y. Zhang, Y. Guo, G. Rhodes, J. Yeom, H. Li, y W. Zhang, "Photocatalytic degradation of cephalexin by ZnO nanowires under simulated sunlight: Kinetics, influencing factors, and mechanisms", *Environ. Int.*, vol. 132, no. April, p. 105105, 2019, doi: 10.1016/j.envint.2019.105105.
- Johnson, Andrew y Sumpter John. Eliminación de sustancias químicas alteradoras endocrinas en obras de tratamiento de lodos activados. En: *Tecnología de ciencia ambiental*. 2001. vol. 35, n° 24, pág. 4697-4703
- Quiñones Rodríguez, I. (2017). Remoción de contaminantes emergentes en aguas residuales utilizando reactores anóxico y aerobio con membrana sumergida.
- Kaesche, H. (1974). Pitting corrosion of aluminum and intergranular corrosion of aluminum alloys. *Localized Corrosion NACE*, 3, 516-525.

- Le-Minh, N., Khan, S. J., Drewes, J. E., & Stuetz, R. M. (2010). Fate of antibiotics during municipal water recycling treatment processes. *Water research*, 44(15), 4295-4323.
- Liu, S., Li, K., & Hughes, R. (2003). Preparation of porous aluminium oxide (Al_2O_3) hollow fibre membranes by a combined phase-inversion and sintering method. *Ceramics international*, 29(8), 875-881.
- Lv, H., Yang, S., Li, C., Han, C., Tang, Y., Li, X., ... y Zhi, C. (2021). Supresión de la capa de pasivación del ánodo de Al en electrolitos acuosos mediante la complejación de H_2PO_4^- con Al^{3+} y una batería de iones de Al electrocrómica. *Materiales de almacenamiento de energía*, 39, 412-418.
- M, M. & L, Jessica & P, Paola & Afani, Alejandro. (2004). Alergia a beta-lactámicos. *Revista Chilena De Infectología - REV CHIL INFECTOL*. 21. 10.4067/S0716-10182004000400002.
- McCafferty, E., & McCafferty, E. (2010). Thermodynamics of corrosion: Pourbaix diagrams. *Introduction to corrosion science*, 95-117.
- Metcalf y Eddy. 2003. *Ingeniería de residuos: tratamiento y reutilización*. 4ª edición. McGraw-Hill, Nueva York. 1819 pág.
- MilliporeSigma, (2024). Cromatografía de capa fina. Recuperado de: <https://www.sigmaaldrich.com/US/en/applications/analytical-chemistry/thin-layer-chromatography#TLC-Process-and-Principles>
- Mumit, M. A., Pal, T. K., Alam, M. A., Islam, M. A. A. A., Paul, S., & Sheikh, M. C. (2020). DFT studies on vibrational and electronic spectra, HOMO–LUMO, MEP, HOMA, NBO and molecular docking analysis of benzyl-3-N-(2, 4, 5-trimethoxyphenylmethylene) hydrazinecarbodithioate. *Journal of molecular structure*, 1220, 128715.
- NACIONALES, L. D. A. Ley de Aguas Nacionales. (2016)
- Nagshetty, K., Shilpa, B. M., Patil, S. A., Shivannavar, C. T., & Manjula, N. G. (2021). An overview of extended spectrum beta lactamases and metallo beta lactamases. *Advances in Microbiology*, 11(01), 37.
- Olmos, R. R. (2003). *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis*. Plaza y Valdés.
- Orr, G., & Golan, G. (2022). Crystalline quality in aluminium single crystals, characterized by X-Ray diffraction and Rocking-Curve analysis. *arXiv preprint arXiv:2107.08477*.
- Pacheco Toro, R. S. (2015). *Biopercolación para la remoción de materia orgánica de aguas residuales tipo domésticas* (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2015).
- Pandey N, Cascella M. Beta-Lactam Antibiotics. [Updated 2023 Jun 4]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545311/>

- Pandey N, Cascella M. StatPearls [Internet]. Publicación de StatPearls; Treasure Island (FL): 4 de junio de 2023. Antibióticos betalactámicos.
- Nogueira, R. F. P., Trovó, A. G., Silva, M. R. A. D., Villa, R. D., & Oliveira, M. C. D. (2007). Fundamentals and environmental applications of Fenton and photo-Fenton processes. *Quimica Nova*, 30, 400-408.
- Giraldo, L. F. G., Franco, E. A. M., & Arango, J. J. S. (2004). La fotocátalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de investigación*, 1(1), 83-92.
- Pino Soto, L. H. (2020). Experimentación, evaluación y modelación del tratamiento de drenajes ácidos mineros mediante nanofiltración.
- Prasanth, B. M., Rajkeerthi, E., & Hariharan, P. (2023). Polarization studies-A method to select and optimize electrolyte for electrochemical micromachining process. *Materials Today: Proceedings*.
- Petrovic, M., González Blanco, S., & Barceló, D. (2003). Análisis y eliminación de contaminantes emergentes en aguas residuales y agua potable.
- Pereira, F., Xiao, K., Latino, D. A., Wu, C., Zhang, Q., & Aires-de-Sousa, J. (2017). Machine learning methods to predict density functional theory B3LYP energies of HOMO and LUMO orbitals. *Journal of chemical information and modeling*, 57(1), 11-21.
- Polarization studies- A method to select and optimize electrolyte for electrochemical micromachining process, *Materials Today: Proceedings*, 2023
- Ramalho, R. S. (2021). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverté.
- Rosal, R., Rodríguez, A., Perdigón-Melón, JA, Petre, A., García-Calvo, E., Gómez, MJ, ... & Fernández-Alba, AR (2010). Ocurrencia de contaminantes emergentes en aguas residuales urbanas y su eliminación mediante tratamiento biológico seguido de ozonización. *Investigación del agua*, 44 (2), 578-588.
- Rossner, A., Snyder, SA y Knappe, DR (2009). Eliminación de contaminantes emergentes preocupantes mediante adsorbentes alternativos. *Investigación del agua*, 43 (15), 3787-3796.
- Singh, N. B., Nagpal, G., & Agrawal, S. (2018). Water purification by using adsorbents: a review. *Environmental technology & innovation*, 11, 187-240.
- Song, H., Li, Q., Ye, Y., Pan, F., Zhang, D. y Xia, D. (2021). Degradación de cefalexina por persulfato activado con biocarbón de lufa magnético: rendimiento y mecanismo. *Tecnología de separación y purificación*, 272 , 118971.

- Stefan, M. I. (Ed.). (2017). Advanced oxidation processes for water treatment: fundamentals and applications. IWA publishing.
- M. Aram, M. Farhadian, A. R. Solaimany Nazar, S. Tangestaninejad, P. Eskandari, y B. H. Jeon, "Metronidazole and Cephalexin degradation by using of Urea/TiO₂/ZnFe₂O₄/Clinoptilolite catalyst under visible-light irradiation and ozone injection", J. Mol. Liq., vol. 304, no. 15, p. 112764, 2020, doi: 10.1016/j.molliq.2020.112764.
- Suárez, C., & Gudiol, F. (2009). Antibióticos betalactámicos. *Enfermedades infecciosas y microbiología clínica*, 27(2), 116-129.
- Tambosi José Luis; et al. Eliminación de compuestos farmacéuticos en biorreactores de membrana (MBR) aplicando membranas sumergidas. Es: Desalación. 2010. vol. 261, pág. 148-156.
- Ternes, TA, Stüber, J., Herrmann, N., McDowell, D., Ried, A., Kampmann, M. y Teiser, B. (2003). Ozonización: ¿una herramienta para la eliminación de productos farmacéuticos, medios de contraste y fragancias de almizcle de las aguas residuales? Investigación sobre el agua, 37 (8), 1976-1982.

ANEXOS

Anexo I. Total de picaduras en probeta de Aluminio con NaCl

DIAMETRO									
#picadura	NaCl	µm							
1	1.3	6500	53	1.4	7000		107	1.6	8000
2	1.4	7000	54	1.8	9000		108	1.5	7500
3	0.8	4000	55	0.7	3500		109	1.7	8500
4	1.2	6000	56	1.2	6000		110	1.7	8500
5	1.9	9500	57	1	5000		111	0.8	4000
6	1.2	6000	58	2.2	11000		112	1.1	5500
7	1.8	9000	59	1.3	6500		113	0.7	3500
8	2.3	11500	60	0.8	4000		114	1.1	5500
9	1.9	9500	61	0.8	4000		115	1	5000
10	1.7	8500	62	1.8	9000		116	0.7	3500
11	1.2	6000	63	1.3	6500		117	2.8	14000
12	1.8	9000	64	1.3	6500		118	2.5	12500
13	1.1	5500	65	2.1	10500		119	2.6	13000
14	2	10000	66	2.6	13000		120	2.3	11500
15	1.5	7500	67	2.6	13000		121	2.4	12000
16	1.4	7000	68	1.8	9000		122	3.3	16500
17	1.4	7000	69	1.8	9000		123	2.4	12000
18	1.9	9500	70	2.4	12000		124	3.9	19500
19	2.5	12500	71	2.1	10500		125	3.9	19500
20	1.2	6000	72	1	5000		126	3.2	16000
21	0.9	4500	73	1.5	7500		127	2.2	11000
22	1.4	7000	74	0.8	4000		128	3.3	16500
23	1.2	6000	75	1.6	8000		129	2.5	12500
24	2.1	10500	76	1.5	7500		130	2.4	12000
25	2.5	12500	77	0.8	4000		131	1	5000
			78	1.4	7000		132	2.1	10500
			79	1.2	6000		133	1.3	6500
26	2.6	13000	80	1.1	5500				
27	1	5000	81	1.8	9000		134	1.1	5500
28	1.1	5500	82	1.3	6500		135	2.3	11500
29	1	5000	83	1.9	9500		136	1.5	7500
30	0.5	2500	84	1.5	7500		137	0.9	4500
31	1.4	7000	85	0.9	4500		138	0.6	3000
32	0.8	4000	86	1.7	8500		139	0.8	4000
33	0.8	4000	87	2	10000		140	1.7	8500
34	0.8	4000	88	1.8	9000		141	0.6	3000
35	1.1	5500	89	0.9	4500		142	1.9	9500
36	0.7	3500	90	0.7	3500		143	0.7	3500
37	1.1	5500	91	1.7	8500		144	0.8	4000
38	1	5000	92	1.7	8500		145	1.7	8500
39	0.7	3500	93	1.3	6500		146	2.1	10500
40	1.6	8000	94	0.5	2500		147	1.4	7000
41	1.5	7500	95	0.6	3000		148	1.9	9500
42	1.5	7500	96	1.8	9000		149	2.5	12500
43	1	5000	97	1.5	7500		150	2.7	13500
44	0.9	4500	98	1.1	5500		151	2	10000
45	0.9	4500	99	2.2	11000		152	1.3	6500
46	1.2	6000	100	1.7	8500		153	1.5	7500
47	0.5	2500	101	1.1	5500		154	1.4	7000
48	1.1	5500	102	1.8	9000		155	1.3	6500
49	0.8	4000	103	1.3	6500				
50	1.4	7000	104	1.4	7000	TOTAL	55picadura	1.521	7603
51	0.8	4000	105	0.5	2500		min	0.5	2500
52	1.6	8000	106	1.4	7000		max	3.9	19500

Anexo II. Total de picaduras en probeta de Aluminio con NaOH

DIAMETRO								
#picadura	NaOH	µm						
1	10.3	51500	53	1.5	7500	107	0.8	4000
2	0.6	3000	54	0.9	4500	108	0.4	2000
3	0.2	1000	55	0.6	3000	109	0.8	4000
4	0.1	500	56	0.6	3000	110	0.7	3500
5	0.1	500	57	0.6	3000	111	0.8	4000
6	0.1	500	58	0.6	3000	112	0.1	500
7	0.4	2000	59	1	5000	113	0.8	4000
8	0.3	1500	60	1.3	6500	114	0.6	3000
9	0.7	3500	61	0.9	4500	115	0.5	2500
10	0.1	500	62	0.3	1500	116	0.3	1500
11	0.1	500	63	0.7	3500	117	0.7	3500
12	0.1	500	64	0.6	3000	118	0.8	4000
13	0.7	3500	65	0.9	4500	119	0.3	1500
14	0.4	2000	66	0.6	3000	120	0.4	2000
15	0.7	3500	67	0.6	3000	121	0.6	3000
16	0.3	1500	68	0.2	1000	122	0.3	1500
17	0.5	2500	69	1	5000	123	0.6	3000
18	0.5	2500	70	0.5	2500	124	0.3	1500
19	0.4	2000	71	0.4	2000	125	0.3	1500
20	1.8	9000	72	0.6	3000	126	0.6	3000
21	1.1	5500	73	0.5	2500	127	0.7	3500
22	0.7	3500	74	0.7	3500	128	0.4	2000
23	0.9	4500	75	1.1	5500	129	0.6	3000
24	0.5	2500	76	0.6	3000	130	0.4	2000
25	0.3	1500	77	0.6	3000	131	0.4	2000
26	1.2	6000	78	0.4	2000	132	0.4	2000
27	0.7	3500	79	0.9	4500	133	0.3	1500
28	0.6	3000	80	0.3	1500	134	0.6	3000
29	1.2	6000	81	0.3	1500	135	0.4	2000
30	0.7	3500	82	0.8	4000	136	0.2	1000
31	1.1	5500	83	1	5000	137	0.6	3000
32	0.5	2500	84	0.6	3000	138	1.1	5500
33	1	5000	85	0.6	3000	139	1.6	8000
34	0.6	3000	86	0.5	2500	140	0.8	4000
35	0.9	4500	87	1.2	6000	141	0.5	2500
36	1.2	6000	88	0.7	3500	142	0.4	2000
37	0.4	2000	89	0.6	3000	143	0.2	1000
38	0.1	500	90	0.6	3000	144	0.9	4500
39	0.1	500	91	0.4	2000	145	0.5	2500
40	0.4	2000	92	1	5000	146	0.9	4500
41	0.6	3000	93	1.5	7500	147	1	5000
42	0.6	3000	94	0.6	3000	148	0.5	2500
43	0.4	2000	95	0.6	3000	149	0.7	3500
44	0.1	500	96	0.8	4000	150	0.3	1500
45	0.6	3000	97	0.7	3500	151	0.7	3500
46	0.2	1000	98	0.9	4500	152	1	5000
47	0.5	2500	99	0.4	2000	153	1	5000
48	0.6	3000	100	1.1	5500	154	0.6	3000
49	0.6	3000	101	2	10000	155	0.8	4000
50	0.5	2500	102	1	5000	156	0.1	500
51	0.1	500	103	0.7	3500	157	0.6	3000
52	0.5	2500	104	0.9	4500	158	0.1	500
			105	0.4	2000	159	0.5	2500
			106	0.3	1500	160	0.1	500

161	0.7	3500	215	1.5	7500	269	0.5	2500
162	0.5	2500	216	1.7	8500	270	0.4	2000
163	0.5	2500	217	1	5000	271	0.4	2000
164	0.9	4500	218	1.3	6500	272	0.4	2000
165	0.7	3500	219	1.1	5500	273	0.6	3000
166	0.6	3000	220	1.6	8000	274	0.4	2000
167	0.3	1500	221	1.3	6500	275	0.3	1500
168	0.2	1000	222	0.8	4000	276	0.6	3000
169	0.9	4500	223	1.1	5500	277	1.1	5500
170	0.5	2500	224	0.9	4500	278	0.7	3500
171	1	5000	225	0.8	4000	279	0.5	2500
172	0.5	2500	226	1.2	6000	280	0.5	2500
173	1	5000	227	0.9	4500	281	0.4	2000
174	0.4	2000	228	1.5	7500	282	0.4	2000
175	1.2	6000	229	0.8	4000	283	1.2	6000
176	0.2	1000	230	0.8	4000	284	1.2	6000
177	0.5	2500	231	0.9	4500	285	1.5	7500
178	0.4	2000	232	1.9	9500	286	0.8	4000
179	0.9	4500	233	1.3	6500	287	0.8	4000
180	0.5	2500	234	0.9	4500	288	0.7	3500
181	0.9	4500	235	1.1	5500	289	0.7	3500
182	0.2	1000	236	2	10000	290	0.6	3000
183	0.9	4500	237	2	10000	291	0.6	3000
184	0.2	1000	238	0.8	4000	292	0.4	2000
185	0.3	1500	239	0.5	2500	293	0.3	1500
186	0.5	2500	240	0.7	3500	294	0.3	1500
187	0.4	2000	241	0.3	1500	295	0.4	2000
188	0.6	3000	242	0.6	3000	296	0.6	3000
189	0.4	2000	243	0.2	1000	297	0.6	3000
190	1	5000	244	0.2	1000	298	0.5	2500
191	0.6	3000	245	0.2	1000	299	0.3	1500
192	0.7	3500	246	1.2	6000	300	0.2	1000
193	1	5000	247	0.9	4500	301	0.6	3000
194	0.3	1500	248	0.1	500	302	0.7	3500
195	0.9	4500	249	0.5	2500	303	0.3	1500
196	0.2	1000	250	0.9	4500	304	0.5	2500
197	0.2	1000	251	1.2	6000	305	0.4	2000
198	0.4	2000	252	1.1	5500	306	0.2	1000
199	0.3	1500	253	1.4	7000	307	0.1	500
200	0.2	1000	254	1.1	5500	308	0.2	1000
201	0.6	3000	255	1.9	9500	309	0.6	3000
202	0.3	1500	256	1.3	6500	310	0.7	3500
203	0.7	3500	257	1.2	6000	311	0.7	3500
204	0.2	1000	258	1.1	5500	312	0.1	500
205	0.9	4500	259	1.8	9000	313	0.5	2500
206	0.7	3500	260	1.2	6000	314	0.5	2500
207	1.5	7500	261	1.1	5500	315	0.7	3500
208	1.4	7000	262	0.8	4000	316	0.6	3000
209	1.2	6000	263	0.9	4500	317	0.3	1500
210	1.3	6500	264	0.6	3000	318	0.3	1500
211	1.2	6000	265	0.8	4000	319	0.6	3000
212	0.2	1000	266	0.9	4500	320	0.3	1500
213	0.1	500	267	1.5	7500	321	0.3	1500
214	0.1	500	268	0.1	500	322	0.5	2500

323	0.7	3500	377	0.3	1500	431	0.7	3500
324	0.5	2500	378	0.6	3000	432	0.7	3500
325	0.4	2000	379	0.4	2000	433	0.4	2000
326	0.5	2500	380	0.3	1500	434	0.5	2500
327	0.4	2000	381	0.6	3000	435	0.6	3000
328	0.7	3500	382	0.3	1500	436	0.7	3500
329	0.4	2000	383	0.6	3000	437	0.5	2500
330	0.8	4000	384	0.5	2500	438	0.6	3000
331	0.4	2000	385	0.6	3000	439	0.5	2500
332	0.4	2000	386	0.4	2000	440	0.3	1500
333	0.7	3500	387	0.3	1500	441	0.5	2500
334	0.7	3500	388	0.5	2500	442	0.6	3000
335	0.8	4000	389	0.4	2000	443	0.5	2500
336	0.6	3000	390	0.4	2000	444	0.4	2000
337	0.1	500	391	0.1	500	445	0.6	3000
338	0.7	3500	392	0.1	500	446	0.5	2500
339	0.1	500	393	0.9	4500	447	0.4	2000
340	0.1	500	394	0.2	1000	448	0.5	2500
341	0.6	3000	395	0.1	500	449	0.6	3000
342	0.2	1000	396	0.2	1000	450	0.6	3000
343	0.1	500	397	0.9	4500	451	0.5	2500
344	0.2	1000	398	0.2	1000	452	0.7	3500
345	0.1	500	399	0.9	4500	453	0.5	2500
346	0.6	3000	400	0.1	500	454	0.7	3500
347	0.6	3000	401	0.7	3500	455	0.4	2000
348	0.2	1000	402	0.5	2500	456	0.4	2000
349	0.2	1000	403	0.7	3500	457	0.3	1500

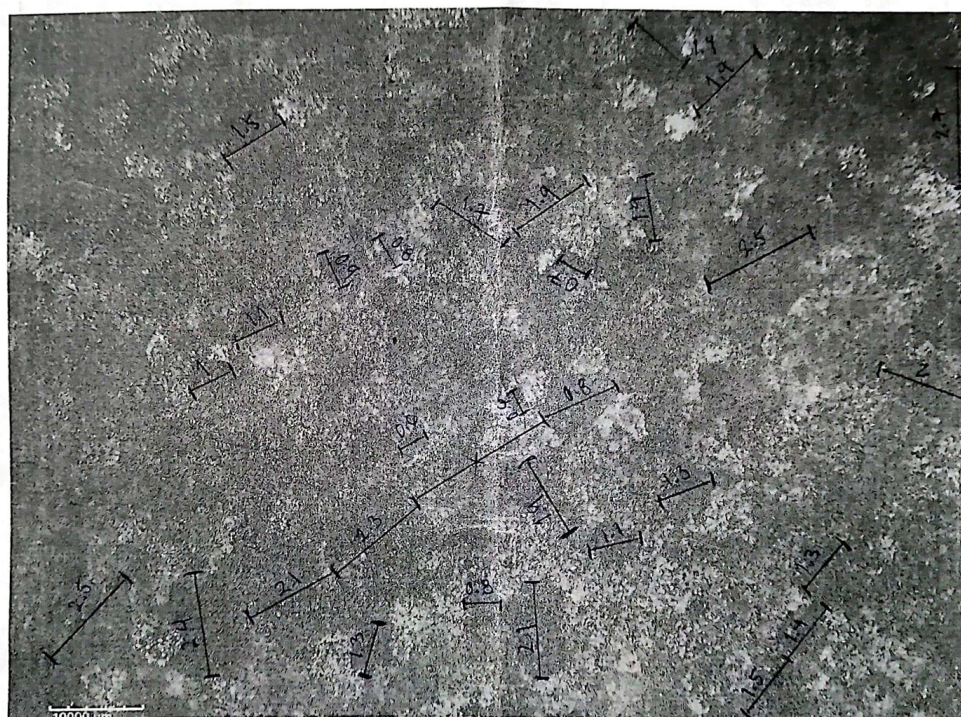
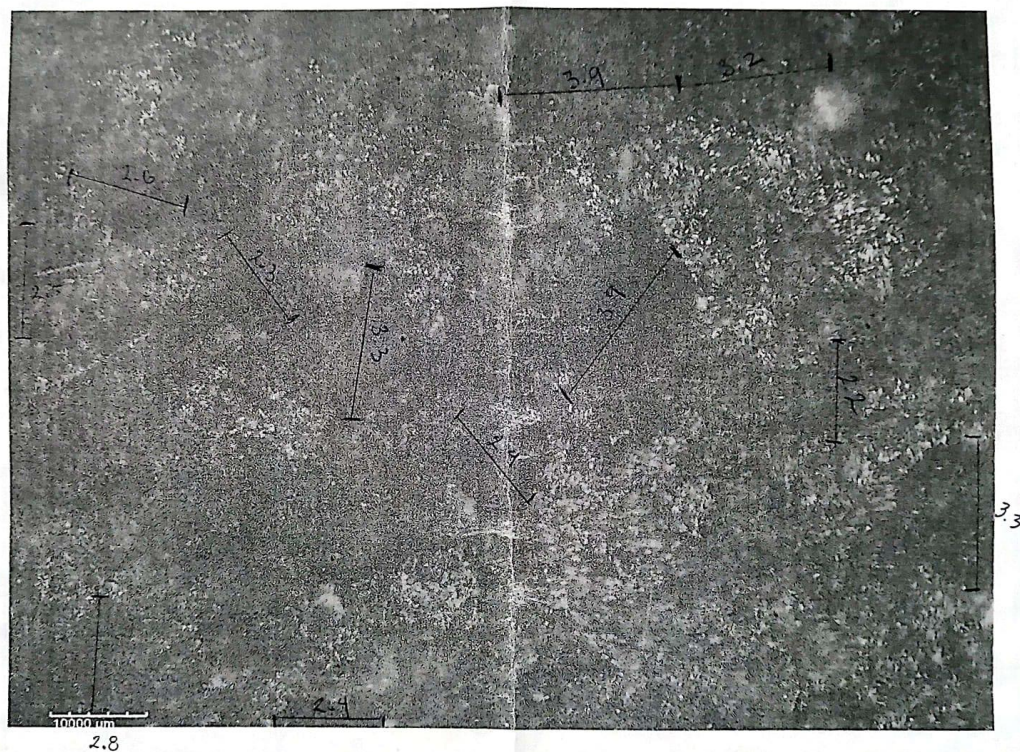
350	0.2	1000	404	0.2	1000	458	0.7	3500
351	0.5	2500	405	0.2	1000	459	0.3	1500
352	0.5	2500	406	0.9	4500	460	0.3	1500
353	0.6	3000	407	0.1	500	461	0.5	2500
354	0.4	2000	408	0.3	1500	462	0.4	2000
355	0.6	3000	409	0.4	2000	463	0.4	2000
356	0.2	1000	410	0.4	2000	464	0.8	4000
357	0.2	1000	411	0.6	3000	465	0.6	3000
358	0.6	3000	412	0.5	2500	466	0.1	500
359	0.6	3000	413	0.1	500	467	0.6	3000
360	0.4	2000	414	0.7	3500	468	0.8	4000
361	0.6	3000	415	0.4	2000	469	0.8	4000
362	0.5	2500	416	0.4	2000	470	0.4	2000
363	0.5	2500	417	0.7	3500	471	0.3	1500
364	0.4	2000	418	0.7	3500	472	0.5	2500
365	0.5	2500	419	0.5	2500	473	0.4	2000
366	0.4	2000	420	0.5	2500	474	0.8	4000
367	0.5	2500	421	0.3	1500	475	0.3	1500
368	0.4	2000	422	0.3	1500	476	0.6	3000
369	0.5	2500	423	0.5	2500	477	0.4	2000
370	0.3	1500	424	0.7	3500	478	0.3	1500
371	0.6	3000	425	0.5	2500	479	0.6	3000
372	0.7	3500	426	0.5	2500	480	0.5	2500
373	0.4	2000	427	0.6	3000	481	0.3	1500
374	0.6	3000	428	0.5	2500	482	0.8	4000
375	0.7	3500	429	0.6	3000	483	0.3	1500
376	0.3	1500	430	0.5	2500	484	0.6	3000

485	0.4	2000	539	0.6	3000	593	0.5	2500
486	0.3	1500	540	0.5	2500	594	0.1	500
487	0.4	2000	541	1.1	5500	595	0.5	2500
488	0.5	2500	542	2.1	10500	596	0.1	500
489	0.6	3000	543	0.5	2500	597	0.1	500
490	0.3	1500	544	0.6	3000	598	0.1	500
491	0.5	2500	545	0.9	4500	599	0.8	4000
492	0.5	2500	546	1.2	6000	600	0.6	3000
493	0.4	2000	547	0.6	3000	601	0.1	500
494	0.5	2500	548	0.2	1000	602	0.5	2500
495	0.1	500	549	0.2	1000	603	0.5	2500
496	0.6	3000	550	0.9	4500	604	0.2	1000
497	0.5	2500	551	1	5000	605	0.4	2000
498	0.6	3000	552	0.2	1000	606	0.8	4000
499	0.1	500	553	0.5	2500	607	0.2	1000
500	0.6	3000	554	0.6	3000	608	0.1	500
501	0.5	2500	555	0.2	1000	609	0.7	3500
502	0.6	3000	556	0.4	2000	610	0.5	2500
503	0.4	2000	557	0.8	4000	611	0.3	1500
504	0.4	2000	558	0.2	1000	612	0.1	500
505	0.2	1000	559	0.1	500	613	0.2	1000
506	0.6	3000	560	0.1	500	614	0.2	1000
507	0.4	2000	561	0.5	2500	615	0.1	500
508	0.4	2000	562	0.4	2000	616	0.4	2000
509	0.4	2000	563	0.2	1000	617	0.3	1500
510	0.4	2000	564	0.1	500			
511	0.1	500	565	0.4	2000			

512	0.1	500	566	1.1	5500
513	0.6	3000	567	0.2	1000
514	0.6	3000	568	0.1	500
515	0.4	2000	569	0.7	3500
516	0.5	2500	570	0.2	1000
517	0.6	3000	571	0.1	500
518	0.4	2000	572	0.5	2500
519	0.5	2500	573	0.5	2500
520	0.4	2000	574	0.6	3000
521	0.2	1000	575	0.1	500
522	0.5	2500	576	0.2	1000
523	0.6	3000	577	0.1	500
524	0.2	1000	578	0.5	2500
525	0.2	1000	579	0.1	500
526	0.5	2500	580	0.2	1000
527	0.6	3000	581	0.1	500
528	0.5	2500	582	0.1	500
529	0.2	1000	583	0.6	3000
530	0.1	500	584	0.1	500
531	0.2	1000	585	0.5	2500
532	0.4	2000	586	0.2	1000
533	0.4	2000	587	0.6	3000
534	0.4	2000	588	0.6	3000
535	0.5	2500	589	0.5	2500
536	0.6	3000	590	0.2	1000
537	1.2	6000	591	0.8	4000
538	0.5	2500	592	0.1	500

TOTAL	617picaduras	0.580	2902
	min	0.1	500
	max	10.3	51500

Anexo III. Diámetros de picaduras en superficies de Aluminio con NaCl. Micrografías a 40 aumentos.



Anexo IV. Diámetros de picaduras en superficies de Aluminio con NaOH.
Micrografías a 40 aumentos.

