



Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco

**“EVALUACIÓN DE LA CÁSCARA DE HUEVO COMO
ADSORBENTE DE Cd Y Pb PRESENTE EN AGUA
SINTÉTICA”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA
DE LA CRUZ MENDOZA CINTHYA JAQUELINNE

DIRECTOR DEL PROYECTO
I.B.Q MA. DEL CARMEN DOMÍNGUEZ REYES

COACALCO DE BERRIOZABAL, ESTADO DE MEXICO, 2025

AGRADECIMIENTOS

Son extensas las personas a quienes le debo el éxito del día de hoy por lo que quiero comenzar con agradecer al Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco por brindarme sus instalaciones para llevar a cabo el presente proyecto y así poder aprovechar futuras oportunidades

Agradezco a ICAMEX por aceptar el fideicomiso que me permitieron conocer los resultados cuantificables del presente trabajo.

También he de agradecer a mi asesora IBQ. Carmen Domínguez por sus enseñanzas como docente y asesora, gracias por sus conocimientos, su tiempo, paciencia, compromiso y dedicación, de igual forma a todos los profesores que fueron parte de mi formación académica los cuales tienen gran experiencia, a todos ustedes gracias por guiarme durante mi formación.

A mis compañeros y amigos, gracias por todo su apoyo, gracias por compartir conmigo esta experiencia tan emocionante.

A las biólogas Diana y Reina, a Elizabeth y al PhD. Edgar por su amistad, por sus consejos, paciencia y por ayudarme en mi formación personal y laboral, así como su constante motivación a no rendirme.

Por último y más importante, la base de todo aquello que es parte de mí, ellos me vieron crecer, me dieron todo aquello que necesité y a quienes les tengo una gran admiración y amor, gracias a sus enseñanzas, valores y dedicación me fue posible llegar tan lejos, gracias por darme fuerzas, por mantener su fe en mí, gracias mamá, papá; por acompañarme durante todo el proceso.

Jaquelinne De la Cruz

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la cáscara de huevo tratada térmicamente y sin tratamiento como adsorbente de plomo y cadmio en agua sintética, considerando que la cáscara de huevo presenta una estructura porosa haciendo que sea viable la adsorción de metales pesados como el plomo y cadmio,

La investigación se ha desarrollado con una metodología en cascada para eficientizar los resultados, utilizando 7.8 gr de cáscara de huevo tratada y no tratada por separado por cada 30 ml de agua sintética a tratar, para analizar los resultados se utilizó absorción atómica en ICAMEX siguiendo la norma NMX-AA-051.

Con base a los resultados obtenidos se demostró que la cáscara de huevo presenta la capacidad de adsorción de cadmio y plomo en aguas sintéticas obteniendo una reducción del 99.32% de Pb y 99.76% de Cd con la cáscara de huevo no tratada y el 99.41% de Pb y 99.73% de Cd con la cáscara de huevo tratada térmicamente.

ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate the heat-treated and untreated eggshell as an adsorbent of lead and cadmium in synthetic water, considering that the eggshell has a porous structure making the adsorption of heavy metals such as lead and cadmium,

The research has been developed with a cascade methodology to make the results more efficient, using 7.8 g of industrial and non-industrial eggshell separately for every 30 ml of synthetic water to be treated. To analyze the results, atomic absorption is used in ICAMEX following the standard NMX-AA-051.

Based on the results obtained, it is demonstrated that the eggshell has the adsorption capacity of cadmium and lead in synthetic waters, obtaining a reduction of 99.32% of Pb and 99.76% of Cd with the untreated eggshell and 99.41% of Pb and 99.73% Cd with heat-treated eggshell

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	3
ÍNDICE.....	4
INDICE DE FIGURAS.....	5
INDICE DE TABLAS.....	6
INDICE DE GRAFICOS	6
INDICE DE ANEXOS.....	6
CAPITULO I. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	7
INTRODUCCIÓN.....	7
JUSTIFICACIÓN.....	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
ANTECEDENTES.....	12
OBJETIVOS.....	15
HIPÓTESIS.....	16
ALCANCES	17
LIMITACIONES	17
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
CARACTERÍSTICAS DE LOS METALES PESADOS	18
PROPIEDADES DE LOS METALES PESADOS	18
PLOMO.....	19
CADMIO	20
PROBLEMAS DE SALUD EN EL SER HUMANO	22
CALIDAD DEL AGUA	23
NORMAS QUE REGULAN EL TRATAMIENTO DE AGUAS.....	23
AGUA SINTETICA.....	25
CÁSCARA DE HUEVO.....	25
ELIMINACION DE METALES PESADOS.....	28
SORCION	30
FISISORCION	30
QUIMISORCION.....	30

MECANISMO DE REACCIÓN	31
ISOTERMAS DE ADSORCION	33
ISOTERMA DE LANGMUIR	36
CAPITULO III. DESARROLLO.....	38
CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS	42
CAPITULO V- CONCLUSIONES.....	41
CONSIDERACIONES	43
RECOMENDACIONES A FUTURO.....	44
COMPETENCIAS DESARROLLADAS	45
FUENTES DE INFORMACION	46

INDICE DE FIGURAS

Figura 1- (1) Microscopía electrónica de la superficie externa de la cáscara de huevo. (2) Sección transversal con cutícula de la capa empalizada, capa mamilar y membranas (100 micras)	26
Figura 2- Isotherma tipo I	33
Figura 3- Isotherma tipo II	34
Figura 4- Isotherma tipo III	35
Figura 5- Isotherma tipo IV	35
Figura 6- Isotherma tipo V	36
Figura 7- Adsorción de cadmio representado en la isoterma de Langmuir y Freundlich.....	37
Figura 8- Metodología del proceso experimental	38
Figura 9- Descripción ilustrativa de la metodología.....	39
Figura 10- EDS de la cáscara de huevo.....	40
Figura 11- SEM de la cáscara de huevo.	41
Figura 12- Análisis DRX cáscara de huevo tratada (CHT)	45
Figura 13- Análisis DRX cáscara de huevo no tratada (CHNT).....	45
Figura 14- Análisis IR cáscara de huevo (CHNT).....	46
Figura 15- Análisis IR cáscara de huevo tratada (CHT)	47
Figura 16- DFP- Potabilización del agua	48
Figura 17- DFP- Potabilización del agua utilizando cáscara de huevo.....	40
Figura 18- Metodología final propuesta.....	42

INDICE DE TABLAS

Tabla 1- Tabla de composición nutricional del polvo de cáscara de huevo.....	27
Tabla 2- Resultados de concentración Pb en el agua con CHT y CHNT	42
Tabla 3- Resultados de concentración de Cd en el agua con CHT y CHNT	43

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1- Resultados de concentración de Pb en el agua con CHT y CHNT	43
Gráfico 2- Resultados de concentración de Cd en el agua con CHT y CHNT	44

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.....	51
ANEXO 2.....	57

CAPITULO I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua con metales pesados se ha convertido en un problema de salud pública, debido a su toxicidad y afectaciones a la salud del ser humano, animales y plantas. Los métodos tradicionales de descontaminación se han enfocado principalmente a tratar efluentes industriales (corrientes residuales originados durante los procesos industriales) con altas concentraciones de metales pesados, siendo alternativas costosas, con requerimientos de grandes espacios de operación y en ocasiones se requiere emplear y/o generar otras sustancias tóxicas (Moreno-Rivas, 2020).

Las aguas residuales industriales pueden tener dentro de su composición diversos metales como el Al, Ag, Cd, Ar, Cu, Fe, Mg, Co, entre otros, siendo altamente tóxicas para la flora y la fauna tanto terrestres como acuática; a su vez estas especies contaminadas son fuente de consumo alimenticio para otras especies, incluido el ser humano.

En el ser humano esta reportado que el consumo de alimentos contaminados con Pb o Cd provocan ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta la muerte (Agua.org, 2017). La forma más común por la que el medio ambiente es contaminado con estos metales pesados es el reciclaje; en el caso del Pb, este obtiene principalmente reciclando chatarra como las placas de baterías y de las escorias industriales como soldaduras, metal para cojinetes, recubrimientos de cables, entre otras. (Fondo para la comunicación y la educación ambiental, 2007), sin embargo, la explotación de los recursos naturales y la actividad industrial del ser humano, ha provocado la contaminación de los mantos freáticos y reservorios naturales del agua, debido a las sales solubles del Pb, que son generadas por el galvanizado, plomería, minería, pintura y reparación de baterías (Dunia,2017).

Diversos estudios han demostrado que la cáscara de huevo se puede utilizar como suplemento de piensos para animales, enmienda del suelo tras un proceso de compostaje, industria del papel, colágeno para la producción de cosméticos, síntesis de bioplásticos, producción de carbonato de calcio y cal, en la aplicación de productos de desechos naturales es una estrategia prometedora ya que las membranas de la cáscara se unen a iones metálicos y otras moléculas cargadas positivamente, considerando lo anterior, el desecho de la cáscara de huevo se puede utilizar como un adsorbente de bajo costo para la eliminación de componentes aniónicos o metales pesados de soluciones acuosas (Instituto de estudios del huevo, 2023). Además de lo mencionado, han demostrado que la cáscara de huevo es prometedora para la eliminación de tintes orgánicos, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y productos farmacéuticos como la morfina. Los metales pesados sustancialmente tóxicos como arsénico, manganeso, plomo, cobre, cadmio, cromo y mercurio se pueden eliminar utilizando cáscaras de huevo. (Abatan et al., 2020)

El uso de métodos como la biosorción, donde se emplean agentes de origen biológico, representa una alternativa viable para la descontaminación del agua de consumo con metales pesados. Es importante destacar que, para el humano y otros organismos vivos, concentraciones muy bajas de metales pesados (del orden de los $\mu\text{g/L}$), siguen constituyendo un importante riesgo a la salud (Moreno-Rivas, 2018).

La mayoría de los métodos utilizados actualmente son muy caros y sólo son eficaces en niveles altos de metales presentes en solución acuosa lo que hace que la técnica de adsorción sea convencional y económica porque es un residuo abundante producido por la industria alimentaria, económico, y ecológico debido a su disponibilidad y ausencia de cualquier elemento constituyente tóxico y peligroso (Annane et al, 2021).

JUSTIFICACIÓN

Los procesos de adsorción han sido ampliamente utilizados para la eliminación de metales pesados en aguas de diferentes calidades y usos, sin embargo esta gran variedad de materiales adsorbentes tienden a tener un costo elevado, pero diversos estudios han demostrado que la remoción empleando materiales de desecho como la cáscara de huevo, se convierten en tecnologías de bajo costo que emplean estos residuos que se encuentran en grandes cantidades y son de fácil acceso a la población en general (Vargas y colaboradores, 2011).

Por otra parte, se ha demostrado que la cáscara de huevo puede utilizarse aprovechando las interacciones de sus membranas a unirse a iones metálicos y otras moléculas cargadas positivamente. Sumado a lo anterior, con un consumo nacional per cápita de 28 kg por año, generando una producción de aproximadamente 2.9 millones de toneladas para 2020, el uso del huevo como alimento produce una gran cantidad de residuos (cáscara), los cuales al depositarse en vertederos causan problemas a la salud humana como al ambiente por la generación y/o atracción de diversos organismos que causan enfermedades (ANAVIP, 2022).

Los carbonatos de la cáscara de huevo presentan una gran afinidad para la adsorción de metales pesados como el Pb y Cd, convirtiéndose en una alternativa relativamente económica ya que las estrategias de acopio para obtener este material son relativamente sencillas, y aplicarse en el tratamiento de agua con la presencia de estos metales debido a que este material no requiere más que el lavado y la trituration para su empleo directo con este fin.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presencia de metales pesados en el agua que consumimos representa un riesgo a la salud pública; destacando principalmente As, Cd clasificándose en el grupo 1 que incluye a los promotores de cáncer en humanos, conocidos hasta el momento y Pb en el grupo 2B como posible carcinógeno por su alta toxicidad de acuerdo con la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC). (Ramos, 2020). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), los síntomas causados por Cd derivaran en diferentes problemas a la salud afectando en mayor parte el sistema respiratorio y creando efectos gastrointestinales, los síntomas y alteración en el organismo será variable de acuerdo con el tiempo, cantidad de exposición, así como la vía de entrada del metal. Por otro lado, las complicaciones del Pb afectan el sistema nervioso y a nivel gastrointestinal; provoca retraso en el desarrollo mental e intelectual de los niños, hipertensión y enfermedades cardiovasculares en adultos. En el 2019, en nuestro país, estos padecimientos fueron la sexta causa de muerte en niños menores de un año, registrando 353 fallecimientos (Agua. Cuéntame de México, s. f).

En las últimas décadas, la contaminación de metales y metaloides en sedimentos marinos y costeros ha sido objeto de interés por muchos autores en todo el mundo (Zhang en 2007; Armstrong en 2019; Altrin en 2020; Bessa en 2021; Madhavaraju en 2021). Esto se debe a que los sedimentos actúan como reservorios de metales, además de ser responsables del transporte de contaminantes y metales traza a los ecosistemas acuáticos (Geoquímica aplicada, 2021). El agua es el principal recurso natural afectado por la contaminación de metales pesados por parte de las fábricas; debido al fácil acceso a los cuerpos de agua dulce con los que cuenta México (lagos, lagunas y ríos) donde, aguas residuales (tanto domésticas como industriales) son vertidas. El problema radica en que las aguas dulces de México son generalmente utilizadas para el abastecimiento público, generación de energía eléctrica y riego de cultivos (CONAGUA, 2019) lo que propicia la proliferación de metales por aguas contaminadas.

Para evitar los daños causados por estos metales pesados, es primordial establecer medidas preventivas donde el suministro, tratamiento y la distribución del agua destinada al consumo humano abarcando toda la cadena de suministro, desde la zona de captación, la extracción, el tratamiento, el almacenamiento y la distribución del agua hasta el punto de cumplimiento.

Para el agua destinada a consumo, es imperante controlar los derrames y escurrimientos industriales y regular el uso de aleaciones y galvanizados en tuberías, grifos y filtros. Para tratar aguas de efluentes industriales que contengan concentraciones de metales pesados $> 100 \text{ mg/L}$, se usan métodos que implican operaciones unitarias como precipitación, coagulación/floculación, filtración por membranas e intercambio iónico (Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, 2020).

ANTECEDENTES

En 2002 Belgin Bayat demostró que las cenizas volantes de Afsin-Elbistan con un alto contenido de CaO son efectivas para la eliminación de Ni (II), Cu (II) y Zn (II) de soluciones acuosas, las cenizas volantes, después de su uso como adsorbente, pueden emplearse como material de relleno en carreteras y obras de construcción, en industrias de cemento y hormigón, en la estabilización de suelos sin ningún peligro posterior de contaminación de acuíferos, o pueden eliminarse en un vertedero.(B. Bayat, 2002)

En diciembre 2015 Saliha Elabbas y colaboradores, utilizaron cáscaras de huevo y polvo de mármol, para eliminar iones Cr (III) de un agua residual de curtido. Se estudió el tiempo de contacto y la temperatura. Los experimentos de sorción por lotes se llevaron a cabo agregando una masa de adsorbente de 0.2 - 4.5 g de cáscara de huevo y de 0.1 - 1 g de mármol en polvo en 50 ml de aguas residuales de curtido de cromo a 25° C. Las suspensiones se mezclaron en un agitador vibratorio a 250 rpm y se filtraron con papel filtro de 2 mm. Se reportó que la eliminación del Cr se produce principalmente a través de reacción de intercambio con el carbonato de calcio, lo que elimina el 99% de Cr (III) de las aguas residuales de curtido al Cr que tenían una concentración inicial de cromo de 3.21 g/L; en comparación con el mármol, donde solo existe una eliminación de la toxicidad un 40% utilizando el mármol y del 25% tratado que por cáscara de huevo. (Elabbas,2016)

En mayo 2020 Lulit Habte y colaboradores, realizan un estudio de la eficiencia de la carbonatación de Ca(OH)_2 derivado de desechos de cáscara de huevo para eliminar metales de aguas residuales. El cadmio ($\text{Cd}_{(II)}$) y el plomo ($\text{Pb}_{(II)}$) fueron los metales pesados objetivo de este estudio, las condiciones óptimas fueron 3 g/L de Ca(OH)_2 , 100 mg/L de concentración inicial de metal y 1 L/min de tasa de flujo de CO_2 . Donde se encontró que las eficiencias de eliminación fueron del 99.99 % y del 99.63 % para $\text{Cd}_{(II)}$ y $\text{Pb}_{(II)}$ respectivamente (Habte et al., 2020).

En febrero 2021 la Q.F.B Gabriela Tapia realiza un estudio evaluando el proceso de biosorción de Cd (II) y Pb (II) en disoluciones acuosas mediante semillas de guayaba natural y semillas modificadas con un surfactante catiónico (bromuro de hexadeciltrimetilamonio) utilizó alícuotas de 10 ml de solución de $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ y $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ de 50 mg/L, en contacto con la biomasa en frascos de plástico y se colocaron en un termo baño con agua a una velocidad de 100 rpm a temperatura ambiente, tras el tiempo de contacto, los sobrenadantes se separaron por filtración y la concentración de los metales se analizó por absorción atómica. La cinética del cadmio indica que el tiempo de equilibrio es de 120 min mientras que la de plomo es de 280 min, concluyendo que la formación de una biocapa y micelas de cationes HDTMA-Br en la superficie del biosorbente es la fuerza impulsora de la adsorción de los iones metálicos. (Tapia, 2021).

En junio 2021 la organización verde y azul en colaboración con investigadores, utilizan el cascarón de huevo, junto con el óxido de magnesio y el óxido de calcio, formando una mezcla que penetra en la tierra cercana al afluente y ayuda a eliminar tanto los restos de heces fecales como los metales pesados del río Santiago en Jalisco, logrando absorber hasta 70% de la materia orgánica y hasta el 20% los metales pesados y sus contaminantes (Verde y azul; 2021).

El 10 de octubre de 2023 Zhao y colaboradores utilizaron el método de atrapamiento de alginato de calcio y reducción en fase líquida para preparar el compuesto de alginato de calcio, nZVI y biocarbón, que se utilizó para eliminar Pb^{2+} , Zn^{2+} y Cd^{2+} en agua. La capacidad máxima de adsorción se encuentra a una temperatura de 300°C y carga de Fe del 5% en peso y dosis de 2.5 g/L, pH entre 5.0 y 6.0; logrando una adsorción de Pb^{2+} , Zn^{2+} y Cd^{2+} de 247.99, 71.77 y 47.27 mg/g, respectivamente. El análisis de energía del sitio combinado con análisis XRD y XPS indicó que la complejación de la superficie y la precipitación fueron los principales mecanismos de adsorción (Zhao et al., 2023).

En 2023 Belhassan y colaboradores realizaron un estudio analizando la eficiencia en la remoción de materia orgánica y metales pesados de un efluente de latonería sintética utilizando carbón natural; adoptaron varios métodos analíticos para evaluar

las propiedades de adsorción del material antes y después del tratamiento se investigó la cinética de adsorción realizada para evaluar el rendimiento de la columna de prueba optimizando los parámetros operativos. Los resultados obtenidos muestran que la columna fija que utiliza una granulometría de 40 μm , un caudal de 3 ml/min y una altura de lecho de 18 cm proporciona un rendimiento competitivo, tanto frente a materia orgánica como frente a metales pesados alcanzando índices de eliminación del 86% de DQO, 69% de sulfato y 100% de los metales pesados (Belhassan et al., 2023).

OBJETIVOS

General

- Comparar la eficiencia de la adsorción de la cáscara de huevo con y sin tratamiento térmico para la eliminación del cadmio y plomo en agua sintética.

Específicos

- ✓ Evaluar la capacidad de la cáscara de huevo tratada y no tratada como adsorbente para el plomo y el cadmio.
- ✓ Comparar la concentración total adsorbida de Cd y Pb en función del, o no, tratamiento de la cáscara.
- ✓ Analizar un método de desorción de cadmio y plomo en las cáscaras de huevo

HIPÓTESIS

- ✓ Es posible reducir un 80% de cadmio y plomo de aguas sintéticas tras un tratamiento utilizando cáscara de huevo como adsorbente.
- ✓ Es posible reducir un 80% de cadmio y plomo de aguas sintéticas tras un tratamiento utilizando cáscara de huevo previamente tratada térmicamente como adsorbente.

ALCANCES

Determinar la concentración y características de la cáscara de huevo que permitan una eficiencia de remoción superior al 80% de Cd y Pb presente en agua sintética, estableciendo tiempos y forma de contacto entre el adsorbente y la muestra de agua tratada.

LIMITACIONES

La eficiencia de la remoción de Cd y Pb, empleando cáscara de huevo para tratamiento en aguas residuales se podría ver disminuida por la presencia de otros contaminantes, orgánicos e inorgánicos, mismos que no se encuentran en los ensayos realizados en el presente estudio, debido a que se trabajó con agua sintética.

No se cuenta con equipo de absorción atómica ni difracción de rayos X (DRX) en el TESCO, por lo que los análisis se realizaron en Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal (ICAMEX), quienes nos favorecieron con un fideicomiso con número de folio 103/114-23LAP06 y analizando las muestras obtenidas utilizando la metodología de la NMX-AA-051.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

CARACTERÍSTICAS DE LOS METALES PESADOS

No existe una definición concreta para describir a los metales pesados, pero se refiere a ellos como un conjunto de elementos que tienen un alto grado de contaminación, toxicidad o eco-toxicidad (Dunia,2017).

Los metales pesados se conocen como aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Se extraen de yacimientos mineros y se utilizan para fabricar todo tipo de productos de uso cotidiano. Presentan la capacidad de formar cationes, encontrándose como contaminantes del agua, por ejemplo; son tóxicos, forman hidruros y sulfuros, insolubles en agua, en su forma neutra y metálica, son muy utilizados en la construcción por su maleabilidad.

PROPIEDADES DE LOS METALES PESADOS

Bioacumulación: no son metabolizados y eliminados por los organismos, acumulándose, causando graves problemas de salud. Debido a su baja biodegradabilidad, los metales pesados tienden a acumularse en plantas y animales biomagnificándose y generando daños al resto de los animales que se alimentan de ellos, perjudicando de esta forma a los siguientes eslabones de la cadena alimentaria (Argentina.gob, 2021)

Solubilidad: forman sales solubles en el agua, lo que dificulta el tratamiento del agua y de las aguas residuales.

Densidad: por su alta densidad y masa, son muy utilizados en el deporte y la industria, ya que son ideales en situaciones en las que se necesita un elemento que ocupe poco volumen, pero que sea pesado.

Durabilidad: son sumamente resistentes a los impactos, y se utilizan en la construcción de puentes y edificios (argentina.org, 2021. Eze&Eze, 2022).

De los metales pesados más usados en la industria podemos encontrar al As, Hg, Pb, Cd, Cr, Mn; cuando se trata del daño que suponen estos químicos para el medio ambiente o para el hombre, es importante tomar en consideración la definición de los metales pesados según su toxicidad (Dunia,2017).

A fin de evitar riesgos para las personas y el medio ambiente, cada elemento y compuesto deberá cumplir con lo establecido en la NOM-018 STPS-2015 que refiere al sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo a través de hojas de seguridad, colocando la información básica de la sustancia peligrosa, identificación de los peligros que incluye las frases de riesgo y consejos de prudencia que se describen como R y S respectivamente, las cuales se irán describiendo de acuerdo a la naturaleza de cada sustancia (ver anexo 1 y 2 donde se desglosan todas las frases de riesgo y consejos de prudencia que pueden ser utilizados en las hojas de seguridad), composición o información sobre los componentes, primeros auxilios, medidas contra incendios, medidas en caso de derrame o fuga, manejo y almacenamiento controles de exposición y equipo de protección personal, propiedades físicas y químicas, estabilidad y reactividad, información toxicológica, información eco-toxicológica, información relativa a la eliminación de los productos, información relativa a los transportes, información reglamentaria concluyendo con otras informaciones relativas. (DOF; 2015)

PLOMO

El plomo es un metal escaso, se calcula en un 0.00002 % de la corteza terrestre, tiene un punto normal de fusión de 327.4 °C, un punto normal de ebullición de 1770 °C y una densidad de 11.35 g/ml. Dentro de las propiedades fisicoquímicas del Pb se encuentra que es flexible, inelástico, posee un comportamiento anfótero (reacciona con ácidos, formando sales ácidas y bases, formando sales metálicas y óxidos); industrialmente, sus compuestos más importantes son los óxidos de plomo y el tetraetilo de plomo, aunque también forma aleaciones con muchos metales

como el Sn, Cu, Ar, Sb, Bi, Cd y Na; a su excelente resistencia a la corrosión, el Pb encuentra un amplio uso en la construcción y en la industria química, ya que es resistente al ataque de muchos ácidos, porque forma su propio revestimiento protector de óxido. Como consecuencia de esta característica tan ventajosa, también se utiliza en la fabricación y el manejo del ácido sulfúrico; otra característica importante del plomo es su ductilidad, que le permite su utilización como forro para cables de teléfono y de televisión. Los compuestos del plomo son tóxicos y han producido envenenamiento de trabajadores por su uso inadecuado y por una exposición excesiva a los mismos.

Frases de Riesgo

- R33: Peligroso por generar efectos acumulativos en el organismo.
- R48/22: Dañino: genera severos daños en la salud humana, por una exposición prolongada o si es ingerido.
- R61: Puede causar efectos adversos en el feto.
- R62: Riesgo de deterioro de la fertilidad.

Consejos de prudencia.

- S45: En caso del accidente o que se encuentre mal, busque consejo médico inmediatamente.
- S53: Evitan su exposición, obtener instrucciones especiales antes de utilizar.
- S60: Este material y su envase se debe disponer como desechos peligrosos.
- S61: Evitar su vertido al medio ambiente. Referirse a las instrucciones especificadas en las hojas de seguridad. (Prtr-España, s. f.).

CADMIO

El Cd tiene un peso atómico de 112.40 y densidad relativa de 8.65 a 20°C. Su punto de fusión de 320.9°C y de ebullición de 765°C. Hay ocho isótopos estables en la naturaleza y se han descrito once radioisótopos inestables de tipo artificial; presenta propiedades químicas intermedias entre las del zinc metálico en soluciones ácidas de sulfato. Se trata de una sustancia bastante tóxica y divalente

en todos sus compuestos estables y su ion (Zn^{+2}) es incoloro, es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas, una pequeña parte es liberada a través de incendios forestales, volcanes y en la quema de combustibles fósiles y residuos urbanos, producción de fertilizantes fosfatados artificiales, en los que parte del cadmio se acumulará en el suelo, y otra parte se verterá a las aguas superficiales.

Frases de Riesgo

- R26: Muy Tóxico por inhalación.
- R45: Puede causar cáncer.
- R48/23/25 Toxico: Puede generar severos daños en la salud humana, por una exposición prolongada, si es inhalado o ingerido.
- R50/53: Muy tóxico a los organismos acuáticos, puede causar a largo plazo efectos nocivos en el medio ambiente.
- R62: Riesgo de deterioro de la fertilidad.
- R63: Riesgo posible del daño al feto.
- R68: Riesgo posible de efectos irreversibles.

Consejos de prudencia.

- S45: En caso del accidente o que se encuentre mal, busque consejo médico inmediatamente.
- S53: Evitan su exposición, obtener instrucciones especiales antes de utilizar
- S60: este material y su envase se debe disponer como desechos peligrosos.
- S61: Evitar su vertido al medio ambiente. Referirse a las instrucciones especificadas en las hojas de seguridad (Prtr-España, s. f.).

PROBLEMAS DE SALUD EN EL SER HUMANO

Los signos más comunes de intoxicación por plomo son los gastrointestinales y sus síntomas comprenden anorexia, náusea, vómito, diarrea y constipación, seguida de cólicos.

Otros efectos no deseados causados por el plomo, son:

- Incremento de la presión sanguínea o taquicardia
- Daño a los riñones y en el sistema urinario
- Abortos y abortos sutiles o leves
- Perturbación del sistema nervioso
- Daño al cerebro
- Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma
- Disminución en la capacidad de mantener una erección
- Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños
- Perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad, euforia e hiperactividad.
- En niños de corta edad se pueden producir daños en la coordinación y en la comprensión de información, hasta llegar a un retardo mental muy serio.
- En fetos puede producir mutaciones leves y mutaciones severas

El Cadmio primero es transportado hacia el hígado por la sangre. Allí es unido a proteínas para formar complejos que son transportados hacia los riñones.

Otros efectos causados por el cadmio a elevadas concentraciones son:

- Diarreas, dolor de estómago y vómitos severos.
- Fractura de huesos.
- Fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad.
- Daño al sistema nervioso central.
- Daño al sistema inmune.
- Desordenes psicológicos.
- Posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer.

CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua es el término que describe las características químicas, físicas y biológicas del agua dependiendo del uso que se le va a dar. Para determinarla, se miden y analizan estos elementos como temperatura, minerales disueltos y la cantidad de bacterias que tiene. A partir de esa información, los datos obtenidos se comparan con estándares para decidir cuál es el uso apropiado para esa agua analizada.

La calidad del agua es un tema de gran relevancia en la actualidad, entre otros asuntos, por el gran crecimiento de la población mundial en los últimos años y la previsión de un aumento futuro todavía mayor. También por la expansión y desarrollo de los entornos urbanos, donde se necesita un mayor suministro de agua y un mejor control de la calidad del agua. En cuanto a las áreas rurales, es un tema central porque en determinadas zonas se presentan problemas debido al uso de fertilizantes para la agricultura que llegan a las aguas superficiales y subterráneas, creando un excedente químico que altera la calidad del agua. (Fundación Aquae, 2021)

NORMAS QUE REGULAN EL TRATAMIENTO DE AGUAS

Los procesos de tratamiento de aguas representan un punto importante en el ciclo hidrológico en el que la dispersión de cantidades sustanciales de metales pesados al medio ambiente puede ser regulados por normas como lo son:

NOM-127-SSA1-1994 (LÍMITES PERMISIBLES PARA CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN)- establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

NOM-179-SSA1-1998. (VIGILANCIA Y EVALUACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO, DISTRIBUIDA POR SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO)- establece los requisitos y especificaciones que deberán observarse en las actividades de control de la calidad del agua para uso y consumo humano. Es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional y es aplicable a todos los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento público.

NOM-230-SSA1-2002. (REQUISITOS SANITARIOS QUE SE DEBEN CUMPLIR EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PÚBLICOS Y PRIVADOS DURANTE EL MANEJO DEL AGUA-MUESTREO)- establece los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua, para preservar la calidad del agua para uso y consumo humano, así como los procedimientos sanitarios para su muestreo

NOM-012-SSA1-1993. (REQUISITOS SANITARIOS QUE DEBEN CUMPLIR LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO PÚBLICOS Y PRIVADOS)- establece los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados para preservar su calidad.

NOM-001-ECOL-19906 (LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES)-establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes.

NOM-001-SEMARNAT-2021 (QUE ESTABLECE LOS LIMITES PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN CUERPOS PROPIEDAD DE LA NACION). - establecer los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, con el fin de proteger,

conservar y mejorar la calidad de las aguas y bienes nacionales. Es de observancia obligatoria para los responsables de las descargas de aguas residuales en cualquier tipo de cuerpo receptor propiedad de la Nación.

NOTA: La Norma no aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes destinados exclusivamente para aguas pluviales ni a las descargas que se vierten directamente a sistemas de drenaje y alcantarillado municipales. (Diario Oficial de la Federación)

AGUA SINTETICA

Se puede referir a agua preparada en un laboratorio, se reconstituye mediante dosificación química después de ser desionizada en gran medida, no existe una metodología específica para la preparación de esta agua.

Agua sintética de plomo: Es aquella agua de laboratorio a la cual se le adiciona una concentración conocida de plomo a través de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

Agua sintética de cadmio: Es aquella agua de laboratorio a la cual se le adiciona una concentración conocida de cadmio a través de $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$

CÁSCARA DE HUEVO

La cáscara de huevo es una capa delgada mineral (aproximadamente de 350 micras de espesor) que protege el contenido del huevo contra impactos mecánicos, deshidratación y la contaminación por microorganismos. Esta capa está perforada por numerosos poros que permiten el desarrollo del esqueleto.

La cáscara de huevo está compuesta por unas membranas orgánicas, la capa mineral y la cutícula que recubre la superficie externa de la cáscara.

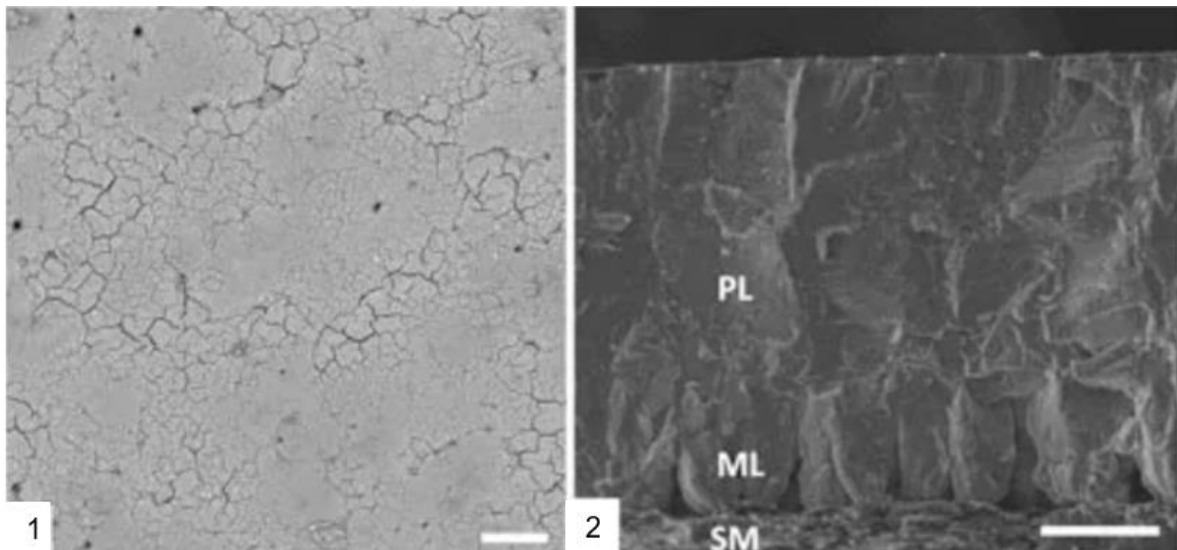


**Figura 1-(1) Microscopía electrónica de la superficie externa de la cáscara de huevo.
(2) Sección transversal con cutícula de la capa empalizada, capa mamilar y membranas (100 micras)**

Autor: Cabrera & Cabrera, 2023

Físicamente sabemos que es oval, lisa, muy frágil, puede ser blanca, más oscura, sin embargo, el color de la cáscara no es diferenciable de la calidad de la misma, todas son iguales. El carbonato de calcio forma la mayor parte de la composición de la cáscara de huevo el cual se encuentra en forma de partículas cristalinas.

En algunos lugares utilizan las membranas como tópicos dado a que tiene grandes beneficios como la queratina, que es el componente más rico en el cabello y uñas. Se trata de una proteína que le da estructura y es muy rico en azufre, insoluble en agua y densa. De la misma forma recientemente se han buscado usos para la cáscara de huevo creando polvo de cáscara que se utiliza como suplemento de calcio.

Este polvo de cáscara contiene por cada 100 gramos:

Composición nutricional	
Agua	0.5 g
Proteína	2.1 g
Ceniza	96.9 gr
Calcio	38 mg
Potasio	41.6 mg
Sodio	87 mg
Fósforo	99.3 mg
Hierro	0.5 mg
Magnesio	375 mg

Tabla 1- Tabla de composición nutricional del polvo de cáscara de huevo

Autor: Botanicalon line, 2021

La cáscara de huevo contiene 94% de carbonato de calcio, 1% de fosfato de calcio, 1% de carbonato de magnesio y 4% de materia orgánica en peso (Abatan et al., 2020).

Algunos modelos tienen una base teórica; sin embargo, pueden tener una utilidad experimental limitada solo porque los supuestos implicados en el desarrollo de la relación se aplican, de manera específica, a un número limitado de procesos de adsorción. (Isotermas de Adsorción En un Sistema Sólido-líquido, s. f.)

La hipótesis de lograr una adsorción efectiva con cáscara de huevo deriva de los estudios que se han realizado con algunos otros materiales porosos, como son la cáscara de arroz, cáscara de naranja, cáscara de cacahuete, entre otros.

La isoterma de Langmuir representa el proceso de adsorción no ideal de formación de multicapas en superficies homogéneas, considerando que los sitios de adsorción son ocupados primero por enlaces fuertes y que la fuerza del enlace decrece al incrementar la ocupación de sitios de adsorción (Tapia, 2021), he aquí la propuesta de realizar un cambio de cáscara de huevo tras un tiempo determinado de contacto.

ELIMINACION DE METALES PESADOS

Existen numerosas técnicas para eliminar o reducir la cantidad de estos metales en el agua. La precipitación química, el intercambio de iones y la adsorción son las técnicas más utilizadas en la práctica para el tratamiento de aguas residuales. Uno de los métodos químicos utilizados es la precipitación de ferritas de estos metales, que son compuestos magnéticos que pueden separarse fácilmente del medio mediante un imán. El procedimiento es sencillo y se basa en la adición de una sal de Fe^{3+} y un medio básico (OH^-) al agua contaminada con iones metálicos (Mx^+), lo que permite la formación de ferritas metálicas (MFe_2O_4), en general, esta metodología se ha utilizado para tratar altas concentraciones de iones metálicos. Como resultado, las ferritas producidas contienen impurezas, y no hay control de las propiedades del material obtenido. (UCCUAM, 2023)

Según una investigación desarrollada por un grupo de científicos en Brasil, las cáscaras de plátano hechas puré sirven para remover metales pesados en agua de río. Es sabido que los ríos suelen albergar estos contaminantes cuando reciben desechos industriales o agrícolas en su trayecto. La mayoría de los mecanismos de limpieza y purificación son costosos, por eso la opción de las cáscaras se presenta como una excelente alternativa. Limpian el agua de metales como el plomo o el cobre, son más efectivas que los sistemas actuales, y además el mismo tratamiento puede ser utilizado hasta 11 veces sin perder sus propiedades de limpieza (Traxco, 2023).

El calcio de la cáscara de huevo como fuente de este mineral supera la absorción del calcio proveniente de rocas y corales, esta biodisponibilidad se debe a que el CaCO_3 se descompone en bicarbonato de calcio. La cáscara contiene componentes minoritarios como carbonato de magnesio, fosfato de calcio y 1% de materia orgánica. Diversas investigaciones permitieron reconocer la capacidad de adsorción de la cáscara de huevo por la presencia de carbonatos en la composición de la cáscara, y su uso para este fin fue reconocido por Hui y McKay por como un método eficiente y económico de tratamiento de agua y ha mostrado ser un método prometedor para eliminar iones metálicos disueltos de desechos líquidos (B. Bayat, 2002). Una forma de aplicar este método es utilizando la cáscara de huevo para la eliminación de metales pesados.

Las técnicas más utilizadas para eliminar iones metálicos de las aguas residuales incluyen la precipitación química, el intercambio iónico, la ósmosis inversa y la extracción con disolventes. Sin embargo, estas técnicas tienen ciertas desventajas, como altos costos operativos y de capital o el tratamiento y eliminación de los lodos metálicos residuales. En la actualidad la implementación de estrategias tecnológicas basadas en adsorbentes de bajo costo es un aspecto que está cobrando importancia, dentro de una política de manejo y uso de residuos sólidos, con el objetivo de minimizar el impacto ambiental de éstos. Así lo confirman el aumento de estudios sobre remoción de metales usando materiales de diseño, fácilmente aumentaron y de diferentes orígenes, tales como residuos de la extracción del aceite de oliva, lodos clarificados de industrias de acero, cenizas de cáscara de arroz, cenizas volátiles y aserrín, subproductos de trillado del arroz, levadura de cervecera y semillas de oliva, entre otros (Vargas-Nieto, 2011).

SORCION

Se define como sorción a la interacción de un átomo, molécula o partícula con la superficie sólida de una interfaz sólido-líquido o una interfaz sólido-gas. Este término general incluye la absorción, la adsorción, la quimisorción y la fisisorción. ((Sociedad Nuclear Española, 2011)

FISISORCION

El proceso físico es aquel por medio del cual, un elemento o compuesto químico, se adhiere a una superficie, que puede estar formada por el mismo tipo de compuesto o por alguno diferente, y en el que la especie adsorbida (fisisorbida) conserva su naturaleza química. (Fisisorción, s. f.)

QUIMISORCION

En este proceso, los átomos o moléculas se unen químicamente a la superficie del material sólido, formando enlaces fuertes. Esta técnica es crucial en la caracterización de catalizadores y materiales utilizados en reacciones químicas, ya que proporciona información detallada sobre la adsorción y desorción de especies químicas en la superficie. (Fisisorción y Quimisorción, 2023)

MECANISMO DE REACCIÓN

La adsorción es una técnica fisicoquímica ampliamente aplicada para la eliminación de metales pesados, ya que no requiere una temperatura de operación elevada y puede eliminar varios materiales a la vez; en este tipo de casos el adsorbente debe ser accesible en cantidades masivas, abundante en la naturaleza, fácilmente reutilizable y rentable. (Abatan et al., 2020).

Como alternativa al carbón activado la capacidad de adsorción de la cáscara de huevo depende de sus propiedades fisicoquímicas y de la influencia de las condiciones experimentales, no todos los parámetros relacionados con el proceso de adsorción de metales pesados están disponibles, y el mecanismo de adsorción no se estudia sistemáticamente. Ahmad et al. demostró que la secuencia de selectividad de sorción de metales ocurre en el siguiente orden: $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Cd^{2+}$ con cantidades máximas de metales adsorbidos de 4.74, 2.05, y 0.5 $mg.g^{-1}$, respectivamente utilizando las condiciones de cáscara de huevo: 0.8 $g.L^{-1}$ y pH: 5 (Annane et al., 2021).

Analizando la caracterización por XRD se observa la presencia de un pico principal en $2\theta = 29,7^\circ$, y picos más pequeños en $2\theta = 23.26^\circ$, 36.3° , 39.8° , 43.6° , 47.9° , 48.9° , 57.8° y 65.8° , que confirman la presencia de calcita en la estructura de la cáscara de huevo. La calcita es la forma termodinámicamente más estable de carbonato de calcio ($CaCO_3$) a temperatura ambiente, lo que refleja la alta dureza de la cáscara de huevo y su estructura romboédrica, además confirma que el compuesto es puro y cristalino (Annane et al., 2021). Los espectros de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier revelan que los iones de cromo y cadmio interactúan con los grupos funcionales carbonilo, carboxílico e hidroxilo en la cáscara de huevo (Abatan et al., 2020). Ya que la cáscara de huevo presenta grupos funcionales carbonilo, carboxílico e hidroxilo, el tiempo de contacto, dosis de adsorbente y el pH desempeñan un papel sustancial en la adsorción ya que conduce a un aumento de la eficiencia de adsorción porcentual de la cáscara de huevo y aumenta la capacidad de adsorción en equilibrio (Abatan et al., 2020).

Aunque la comparación directa de la capacidad de eliminación de diferentes adsorbentes no es sencilla debido a la diversidad de condiciones experimentales, los resultados de estudios realizados indica que la capacidad de adsorción de Cd^{+2} utilizando cáscara de huevo es mayor que la de la mayoría de los adsorbentes utilizados en otras experimentaciones. El desempeño puede atribuirse a su mayor área superficial específica (2.35 mg.g^{-1}) en comparación con otros trabajos (como 0.07 mg.g^{-1} y 1.71 mg. g^{-1}), que podría estar relacionada al tamaño de partícula (ya que un tamaño de partícula más pequeño de cáscara de huevo proporcionó una mayor solubilización y un valor más alto de resistencia a la filtración (Khaskheli et al.,2021)), el tratamiento térmico, así como del método de molienda y tamizado (Annane et al., 2021);

El aumento del pH expone la presencia de grupos carbonato en las cáscaras de huevo para desarrollar las cargas negativas en la superficie de la partícula de cáscara de huevo, atraer los cationes y permitir la adsorción del adsorbato en la superficie del adsorbente (Abatan et al., 2020). Khaskheli menciona que esto puede revelarse debido a que los sitios de adsorción activa permanecen protonados por iones de hidrógeno a un pH más bajo y se vuelven menos disponibles para la adsorción de metales. A medida que aumenta el pH, la concentración de iones H^{+} disminuye, por lo que no compiten con los iones metálicos en los sitios de adsorción (Khaskheli et al.,2021).

Los resultados sugieren que la eliminación de los metales se produce a través de un mecanismo de adsorción química descrito por un modelo de pseudosegundo orden y sigue el modelo de isoterma de sorción de Langmuir. (Annane et al., 2021). Además, estudios previos revelaron que la adsorción de metales pesados podría seguir tres pasos posibles, que incluyen adsorción, difusión intrapartícula y difusión externa (Abatan et al., 2020).

ISOTERMAS DE ADSORCION

Se han realizado clasificaciones de las isothermas atendiendo a su forma, que está relacionada con el mecanismo de adsorción. El primer sistema de clasificación de isothermas fue propuesto por Brunauer (1940) utilizando cinco tipos en función del mecanismo: formación de monocapa, luego multicapa y luego condensación capilla.

- *Isothermas TIPO I*- Se da en sólidos micro porosos, o que sólo admiten una monocapa. El adsorbato cubre al adsorbente, el cual tiene una superficie uniforme, hasta que se forma una monocapa y el proceso se detiene.

Su ecuación se enuncia como:

$$\theta = \frac{KP_A}{(1 + KP_A)}$$

Esta isoterma se basa en las siguientes suposiciones:

- Todos los sitios de adsorción son equivalentes.
- La adsorción no depende del recubrimiento.

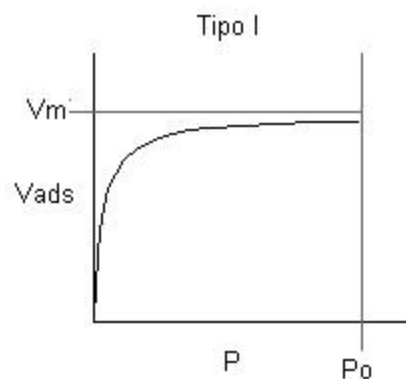


Figura 2-Isoterma tipo I

Autor: Dr. Víctor Manuel Rosas García

- *Isotermas TIPO II*- Indica formación de monocapa, seguida de formación de multicapa. El adsorbato cubre al adsorbente hasta que se forma una monocapa y el proceso continúa con adsorción en multicapas. Es un perfil frecuente en procesos de adsorción física en los cuales las interacciones son poco específicas. Para que se produzca este tipo de comportamiento es necesario que la afinidad del adsorbato por el adsorbente sea algo mayor que la afinidad del adsorbato por sí mismo.

Su ecuación se enuncia como:

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m C} + \left(\frac{C - 1}{V_m C} \right) \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Esta isoterma se basa en las siguientes suposiciones:

- La primera capa obedece a un calor de adsorción ΔH_{ads}
- Las capas posteriores a la primera tienen un calor de adsorción igual al calor de licuefacción, ΔH_{liq}

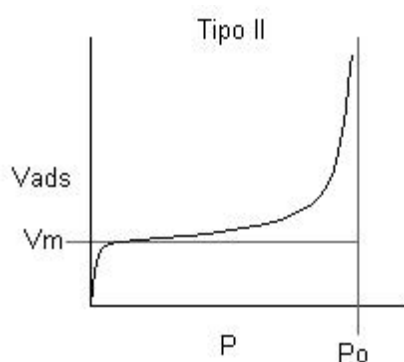


Figura 3- Isoterma tipo II

Autor: Dr. Víctor Manuel Rosas García

- *Isotermas TIPO III*- Se da cuando la interacción adsorbato-adsorbente es más débil que la interacción adsorbato. El adsorbato tiene aproximadamente la misma afinidad por el adsorbente y por sí mismo, o es ligeramente más afín a sí mismo que al adsorbente, por lo cual es una vez que se ha adsorbido una molécula ésta actúa también como sitio libre para que otra molécula se adsorba. Esto conduce a un recubrimiento desigual, con partes limpias, partes cubiertas con monocapa y partes cubiertas con multicapa.

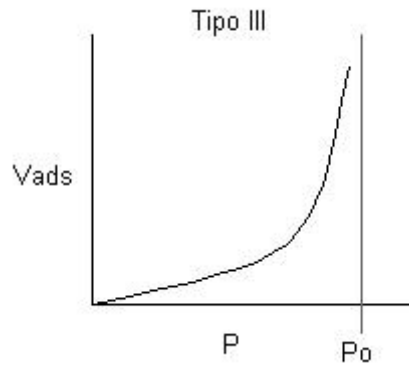


Figura 4- Isotherma tipo III

Autor: Dr. Víctor Manuel Rosas García

- *Isothermas TIPO IV-* En este caso el comportamiento inicial consiste en formar una monocapa, para luego mostrar comportamiento de formación de multicapas hasta alcanzar un máximo a una presión máxima P_0 . Este comportamiento se justifica postulando un adsorbente rugoso en el cual la monocapa inicial deja muchos huecos, que terminan por saturarse de adsorbato al alcanzar la presión P_0 (condensación capilar).

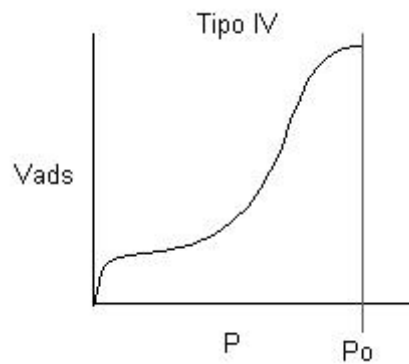


Figura 5- Isotherma tipo IV

Autor: Dr. Víctor Manuel Rosas García

- *Isotermas TIPO V*- En este caso el comportamiento inicial consiste en formar una multicapa hasta alcanzar un "espesor de multicapa" máximo. Este comportamiento se justifica postulando un adsorbente rugoso, como en el caso IV, y un adsorbato que interactúa débilmente con el adsorbente.

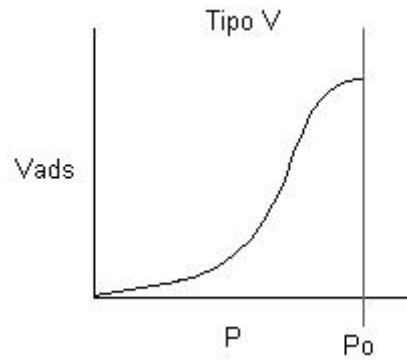


Figura 6- Isoterma tipo V

Autor: Dr. Víctor Manuel Rosas García

ISOTERMA DE LANGMUIR

Como perteneciente al tipo I de isotermas, este modelo sugiere una monocapa de adsorción con o sin interacciones entre las moléculas adsorbidas, donde la distribución energética de los sitios activos puede ser homogénea o heterogénea, lo cual dependerá de la naturaleza del ion adsorbido.

La ecuación de Langmuir se presenta como:

$$q_e = \frac{Q_0 b C_e}{1 + b C_e}$$

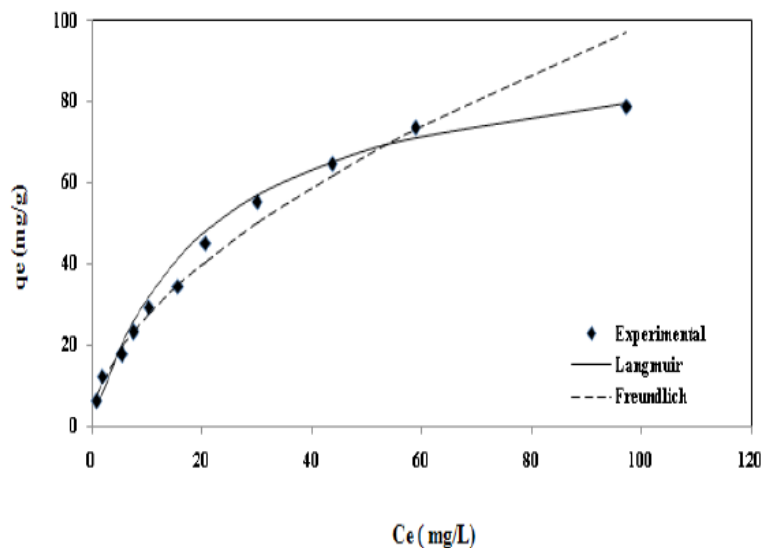


Figura 7- Adsorción de cadmio representado en la isoterma de Langmuir y Freundlich

Autor: M et al., 2013

Donde:

q_e Se refiere a la concentración de soluto adsorbido por unidad en peso de adsorbente (mg/g)

C_e Se refiere a la concentración del soluto en equilibrio (mg/L)

Q_0 Se refiere a la concentración de soluto adsorbido por unidad en peso de adsorbente requerido para la capacidad de monocapa en la superficie (mg/g).

b Se refiere a la constante de Langmuir, la cual es la energía de adsorción (L/mg)

Como se ha mencionado anteriormente, el mecanismo dependerá de las condiciones del proceso (temperatura, concentración, pH), dado que la cáscara de huevo presenta cationes por el carbonato de calcio, se llevará a cabo una quimisorción por lo que para determinar su cinética es necesario realizar el modelo de Langmuir ya que es más útil en soluciones diluidas en rangos pequeños de concentración.

CAPITULO III. DESARROLLO

A continuación, se muestra el diagrama de flujo de la metodología, en el cual se puede apreciar la experimentación en cascada, realizada durante los experimentos:

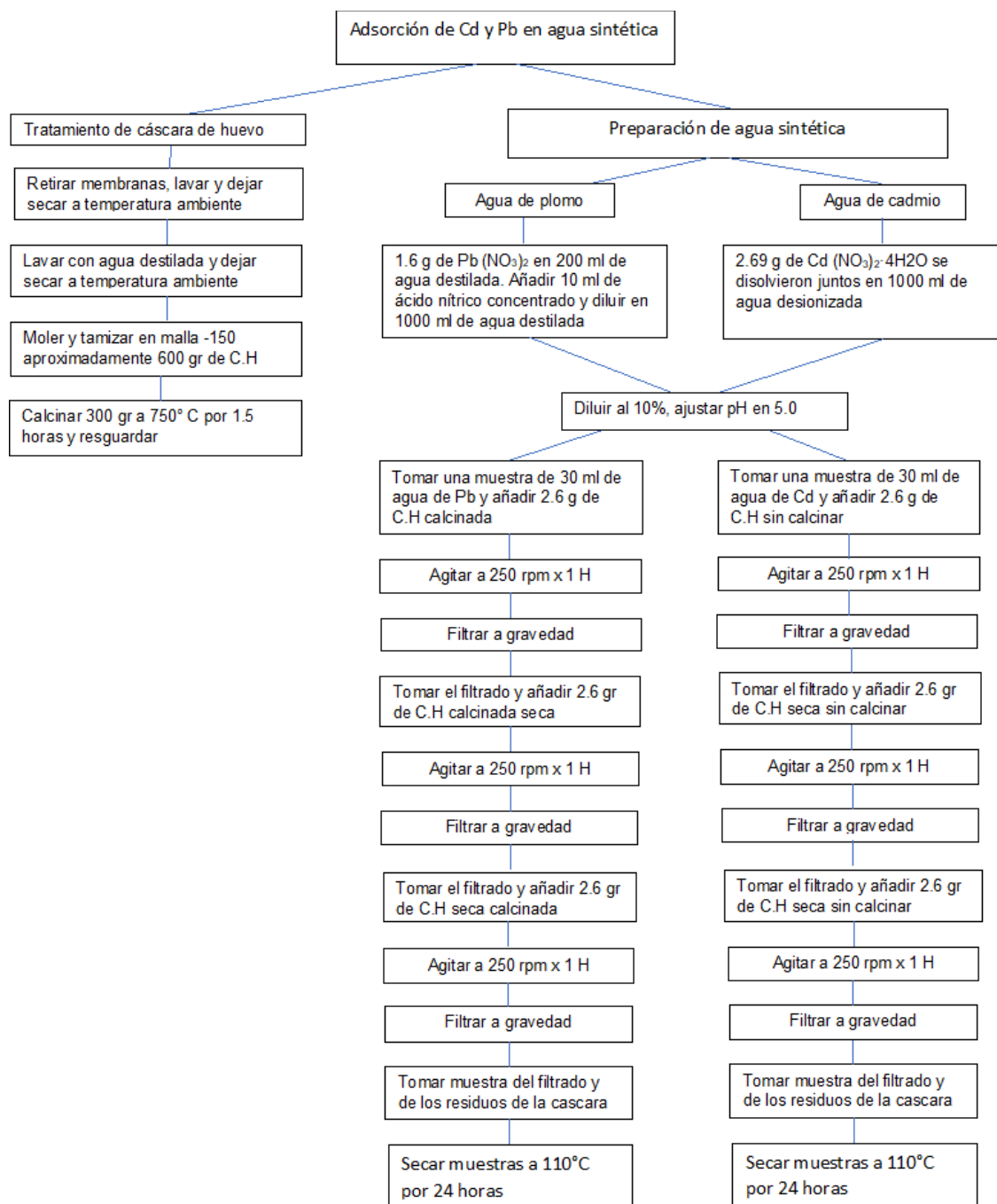


Figura 8-Metodología del proceso experimental

Fuente: El autor



Preparación del agua a tratar



Adición de los 2.6 gr de cáscara de huevo



Primera agitación con 2.6 gr de cáscara de huevo limpio



Segunda agitación con 2.6 gr de cáscara de huevo limpio



Tercera agitación con 2.6 gr de cáscara de huevo limpio



Filtrado del agua ya tratada

Figura 9- Descripción ilustrativa de la metodología

Fuente: El autor

La metodología fue propuesta considerando las características que presenta la cáscara de huevo apoyada de los resultados encontrados con la caracterización de este material a partir de un estudio de espectroscopia de energía dispersiva (EDS) realizado por Laura Cabello en 2019, que mostró que la composición química, el porcentaje en peso y el porcentaje atómico donde muestra un alto contenido de Ca: 65.54 wt% y O₂: 29.67wt%.

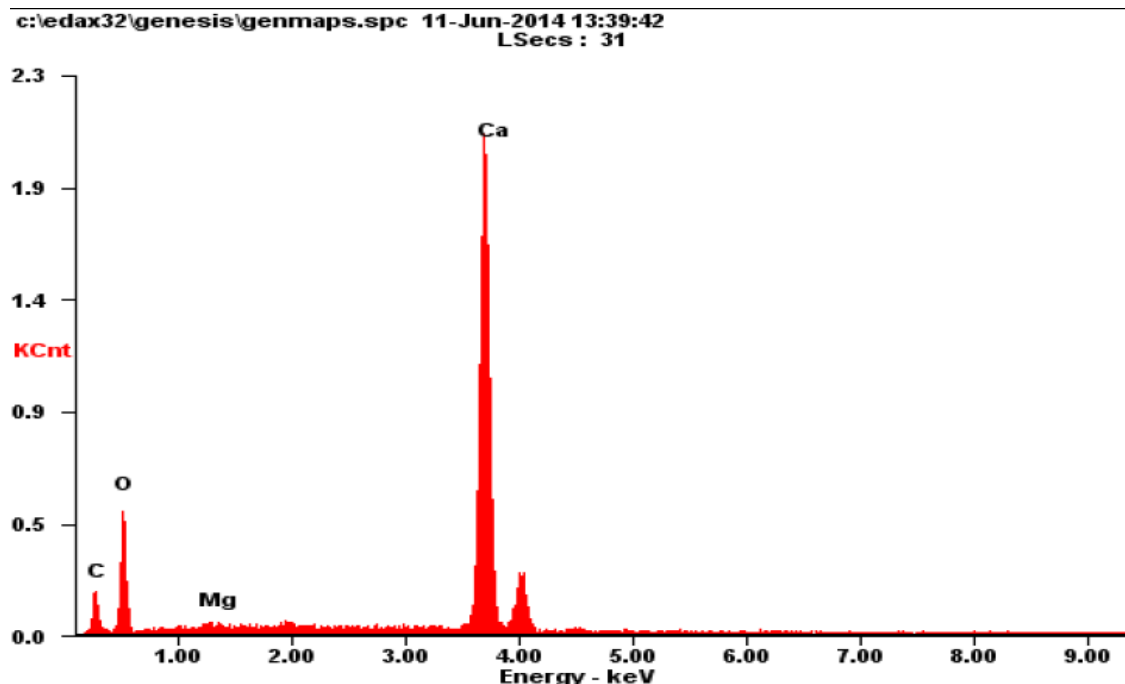


Figura 10-EDS de la cáscara de huevo.

Autor: Laura Paulina Cabello Mendoza, 2019

Al igual que la composición química, es importante realizar el análisis morfológico de la cáscara de huevo mediante una microscopía electrónica de barrido, concentrando la hipótesis de mayor adsorción con mayor área de contacto (figura 11)

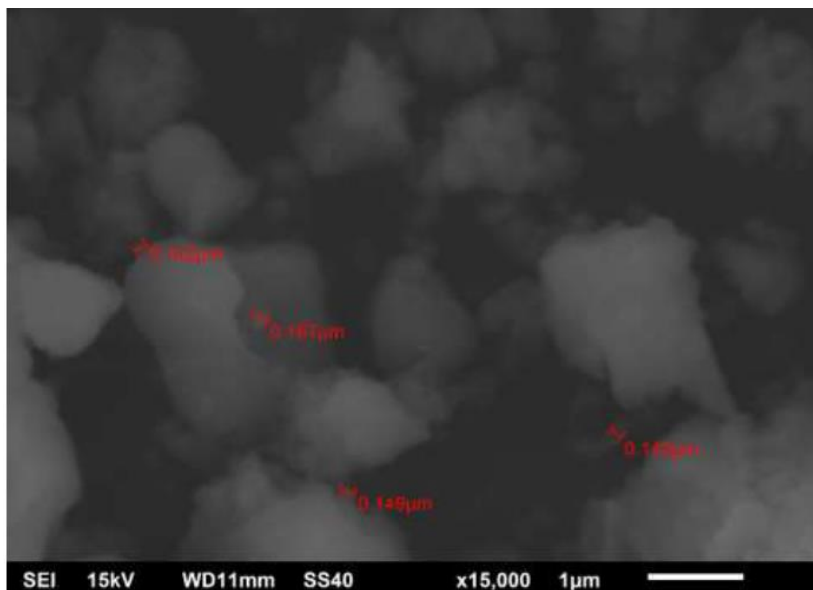


Figura 11-SEM de la cáscara de huevo.

Autor: Laura Paulina Cabello Mendoza, 2019

Debido a la alta toxicidad de los metales que se trabajaron en el presente trabajo y, de acuerdo con las normas de límites permisibles de cadmio y plomo en el agua potable, se manejó una disolución al 5% sobre las soluciones iniciales obteniendo así una solución final de 41.80 mg/L y 13.48 mg/L de plomo y cadmio respectivamente, a un pH de 5.0.

A la cáscara de huevo se le retiraron previamente las membranas para realizar un lavado, secado y triturado a un tamaño de malla -150; en el caso de la cáscara que tendrá tratamiento térmico, fue sometida a 750°C de temperatura por 1.5 horas.

Los análisis se realizaron en forma de cascada en 3 tiempos. En el primer tiempo se añadieron 2.6 gr de cáscara de huevo en 50 ml de solución agitando a 250 rpm en un tiempo de contacto de 1 hora y filtrando a gravedad, pasado este tiempo la solución ya filtrada se pone en contacto con 2.6 gr de cáscara de huevo limpio y repitiendo este proceso una vez más; se utilizó el mismo procedimiento con ambos tipos de cáscara de huevo.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

Después de realizar las 3 filtraciones, la solución residual de la última filtración fue analizada para determinar la concentración de Pb y Cd presente, y determinar la adsorción de la cáscara mediante análisis de adsorción atómica bajo la norma NMX-AA-051 que se refiere a la medición de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas, utilizando CHT para referir a la cascara de huevo tratada y CHNT para la cáscara de huevo no tratada. Obteniendo los siguientes resultados:

Agua sintética “Tratamiento del plomo con CHT Y CHNT”

ID	CHT (mg/L)	ID	CHNT (mg/L)
SMPB	41.8	SMPB	41.8
PB16	0.281	PB16	0.251
PB18	0.211	PB18	0.286
PB23	0.251	PB23	0.318

Tabla 2- Resultados de concentración Pb en el agua con CHT y CHNT

Fuente: El autor

Como se puede observar en la tabla 2, la concentración de la solución madre con Pb es de 41.800 mg/L, tras el tratamiento con la CHT se obtiene un promedio de 0.248 mg/L lo que representa una adsorción del 99.41%, por otra parte, observando los resultados utilizando la CHNT se obtiene un promedio de 0.285 mg/L lo que representa una adsorción del 99.32%, lo cual se podrá apreciar más claramente en el gráfico 1.

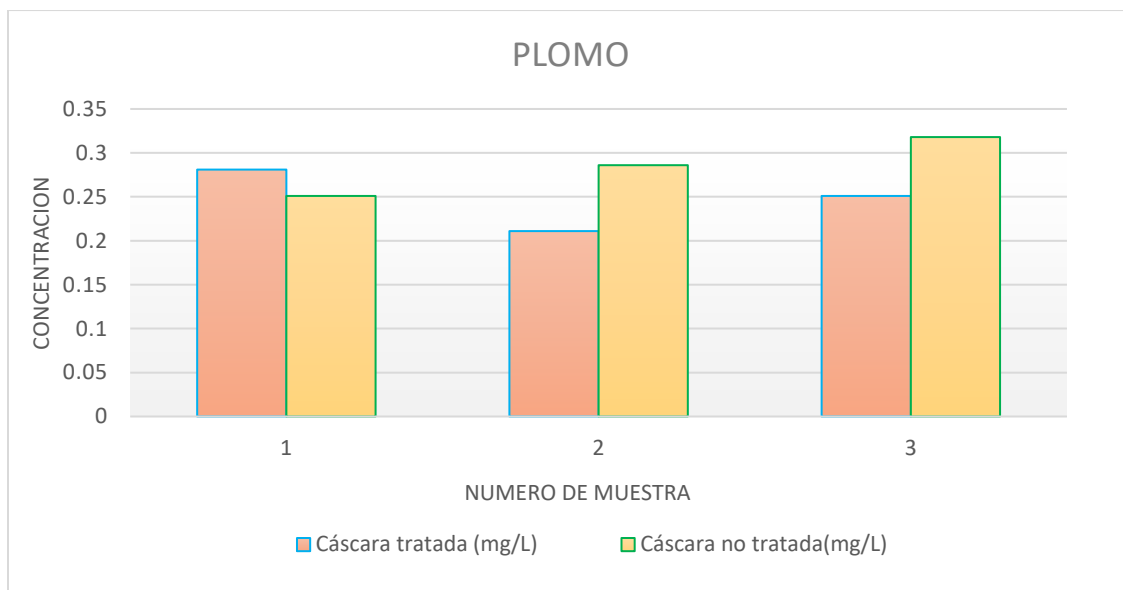


Gráfico 1- Resultados de concentración de Pb en el agua con CHT y CHNT

Fuente: El autor

Agua sintética “Tratamiento del cadmio con CHT Y CHNT”

ID	CHT (mg/L)	ID	CHNT (mg/L)
SMPB	13.48	SMPB	13.48
PB16	0.049	PB16	0.032
PB18	0.031	PB18	0.033
PB23	0.032	PB23	0.035

Tabla 3- Resultados de concentración de Cd en el agua con CHT y CHNT

Fuente: El autor

Como se puede observar en la tabla 3, la concentración de la solución madre con Cd es de 13.480 mg/L, tras el tratamiento con la CHNT se obtiene un promedio de 0.037 mg/L lo que representa una adsorción del 99.73%, por otra parte, observando los resultados utilizando la CHNT se obtiene un promedio de 0.033 mg/L lo que representa una adsorción del 99.76%, lo cual se podrá apreciar más claramente en el gráfico 2.

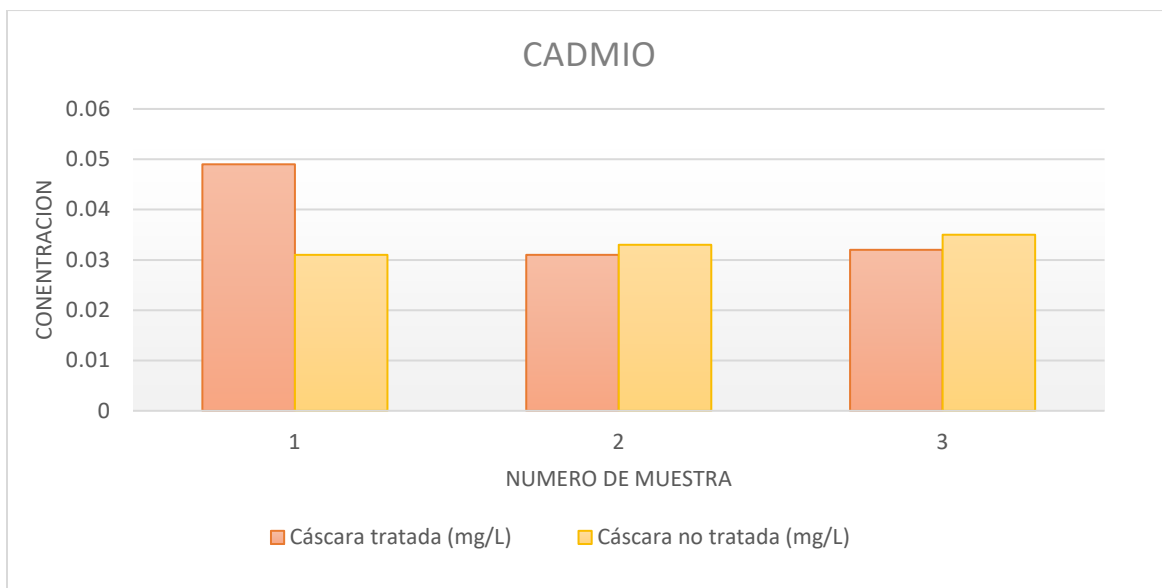


Gráfico 2- Resultados de concentración de Cd en el agua con CHT y CHNT

Fuente: El autor

Los resultados obtenidos en ambos tipos de cáscara, son cercanos a los reportados por Lulit Habte en 2020 en su investigación estudiando la eficiencia de la carbonatación de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ quien obtiene resultados de 99.99 % y del 99.63 % para Cd (II) y Pb (II) respectivamente (Habte et al, 2020).

Considerando lo señalado por Abatan et al en 2020, para explicar el mecanismo de adsorción se realiza una difracción de rayos X a ambos tipos de cáscara de huevo, el DRX de la cáscara de huevo tratada muestra la concentración de carbonato de calcio en un 93% (color azul) e hidróxido de calcio en un 4% (color verde)

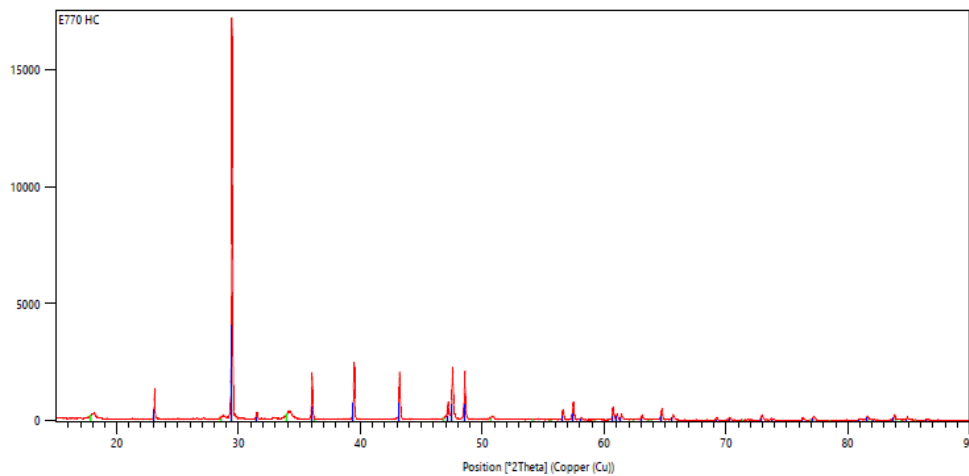


Figura 12- Análisis DRX cáscara de huevo tratada (CHT)

Fuente: El autor

Por otra parte, el DRX de la cáscara de huevo sin tratar muestra un 100% de carbonato de calcio

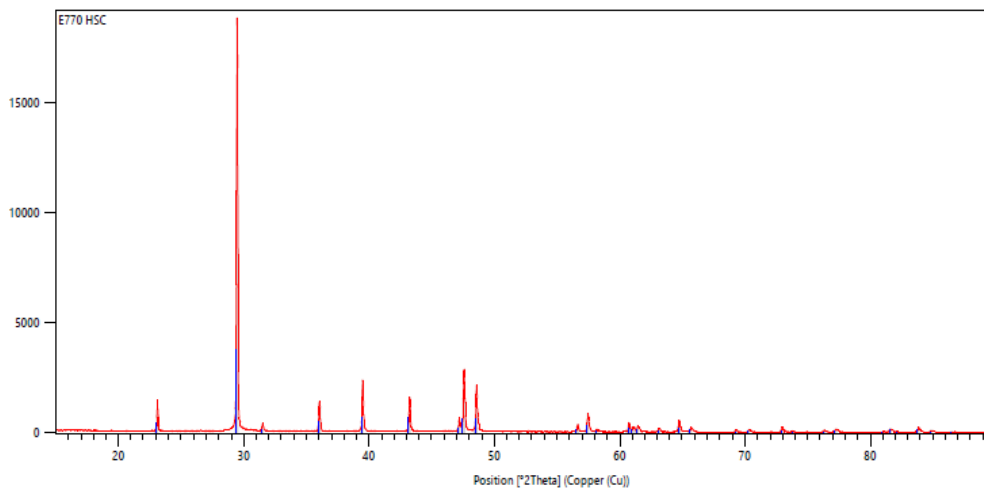


Figura 13- Análisis DRX cáscara de huevo no tratada (CHNT)

Fuente: El autor

Lo anterior confirma que la presencia de hidrogeno en la reacción promueve la adsorción como lo explica Abatan.

Para observar la capacidad de adsorción de ambos tipos de cáscara, se realizó un estudio de IR, en el cual se aprecia que la cáscara sin tratamiento contiene más elementos que reducen su eficiencia presentando carbonato de calcio y proteínas, por otra parte, la cáscara tratada presenta únicamente carbonato de calcio lo cual marca la diferencia de adsorción entre ambos tipos de cáscara.

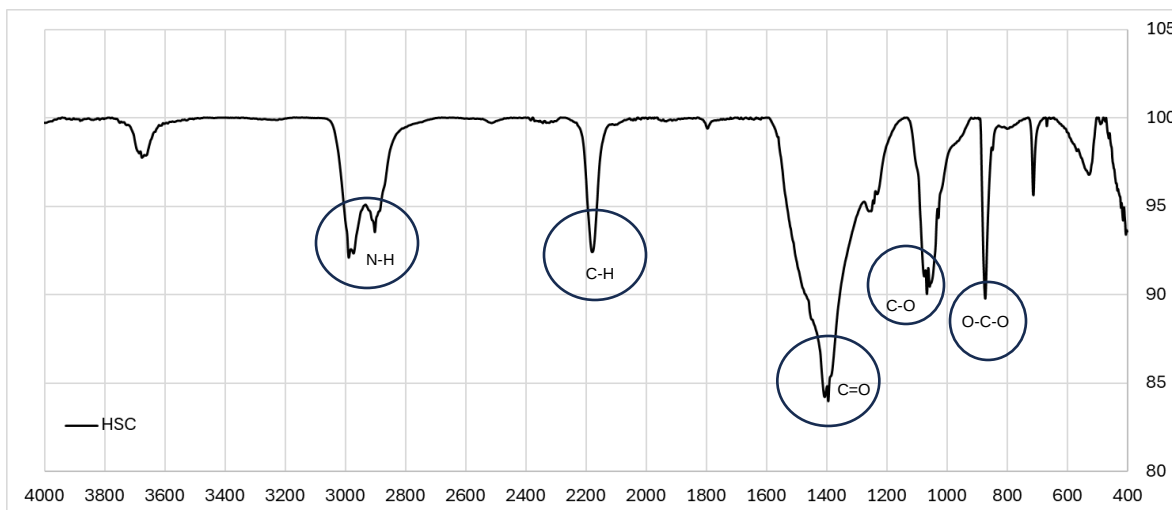


Figura 14- Análisis IR cáscara de huevo (CHNT)

Fuente: El autor

Como se muestra en la figura 14 se pueden apreciar los picos de carbonato en 1400, dióxido de carbonato en los 800 grados, monóxido de carbono en los 2200 grados, aminas en los 2800 a 3000 grados.

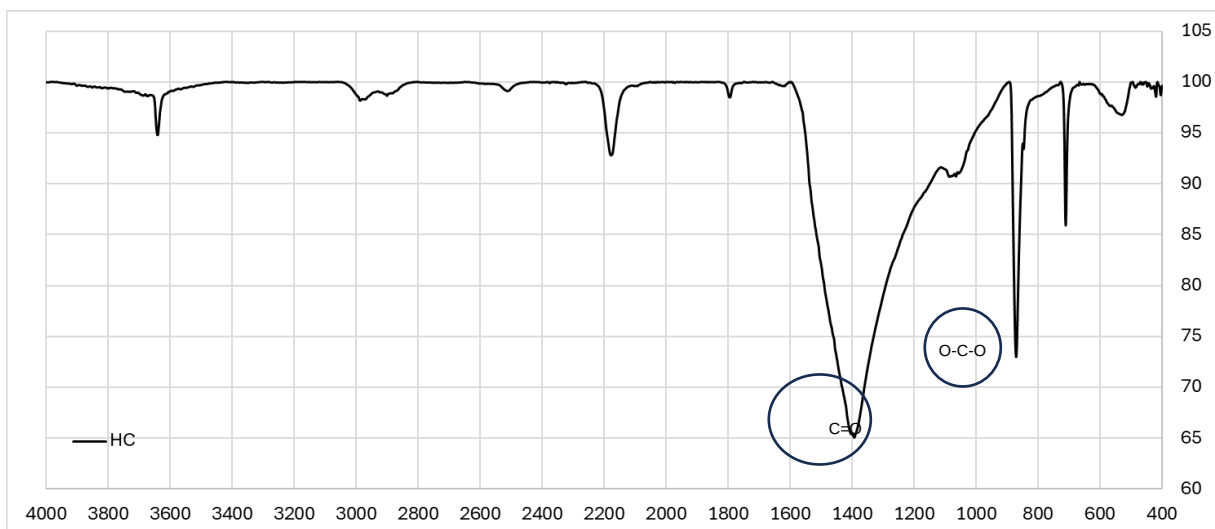


Figura 15-Análisis IR cáscara de huevo tratada (CHT)

Fuente: El autor

En la figura 15 se observa únicamente los enlaces de carbonato en los 1400 grados y dióxido de carbono en los 800 grados.

Para su prueba en una planta piloto se propone realizar este procedimiento en el tratamiento de agua potable, puesto que presenta una cantidad de contaminantes más bajo en comparación de aguas grises o residuales que incluyen contaminantes de diferente naturaleza.

Para que el proceso de sorción sea escalable a nivel industrial debe ser un proceso continuo, así que implica el uso de reactores con columnas reusables a través de las cuales se haga pasar el agua a descontaminar.

El proceso de potabilización consta del siguiente proceso:

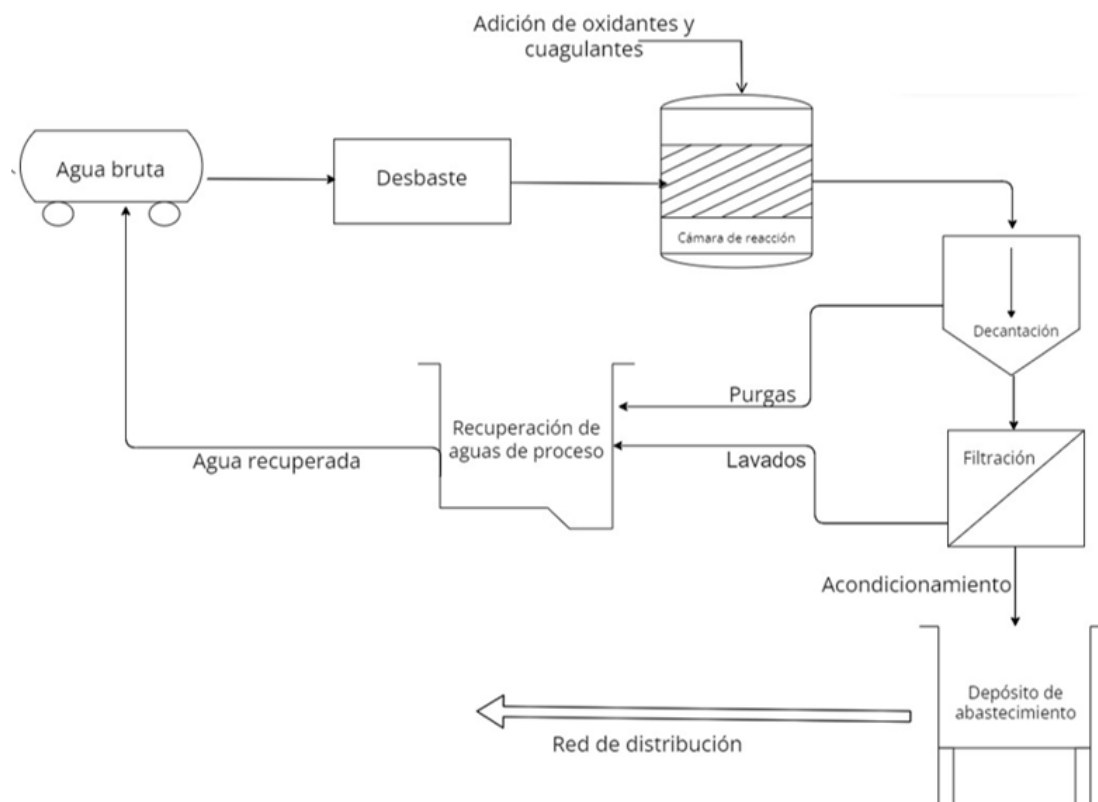


Figura 16-DFP- Potabilización del agua

Fuente: Grupo TAR, s.f.

Bajo este criterio y considerando las características que se deben llevar a cabo para realizar la adsorción, se propone el siguiente proceso:

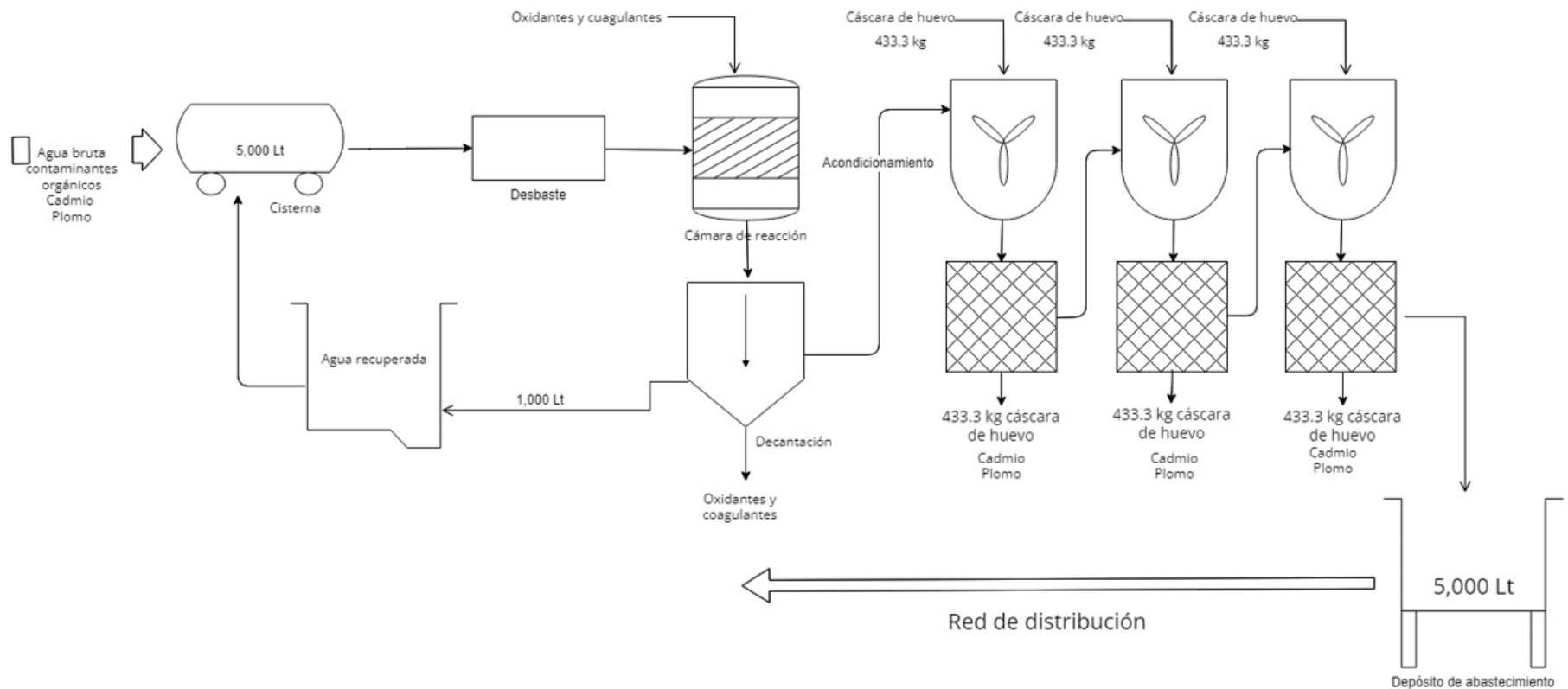


Figura 17- DFP- Potabilización del agua utilizando cáscara de huevo

Fuente: El autor

CAPITULO V- CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de un pH de 5, en tiempo de contacto 3 horas, y 7.8 gr de cáscara de huevo con una metodología en cascada, se logra una adsorción del 99.76% de cadmio y 99.32% de plomo.

Se confirma positivamente el proceso que se está llevando a cabo en la organización verde y azul quienes presentan 20% de eliminación de metales pesados utilizando la combinación de la cáscara, óxido de magnesio y óxido de calcio (organización verde y azul, 2021), señalando que la metodología propuesta podría disminuir los costos de tratamiento de agua y a su vez reducir las cantidades de desechos en vertederos por el alta de producción de huevo en México,

Con los resultados obtenidos con el equipo de absorción atómica en ICAMEX bajo la metodología NMX-AA-051 y haciendo la comparación de resultados entre los tipos de cáscara utilizados, se concluye que la diferencia de adsorción es de 0.09 mg/L para el plomo y 0.03 mg/L para el cadmio; por lo que podemos determinar que el tratamiento térmico en la cáscara de huevo no influye considerablemente con los resultados bajo las condiciones en las que se realizaron los análisis ya que en ambos tipos de tratamientos se logra una adsorción de plomo y cadmio por encima del 99.0% en cada caso, lo que hace a la cáscara de huevo sin tratamiento sea el material idóneo para el procedimiento propuesto a continuación: (figura 18).

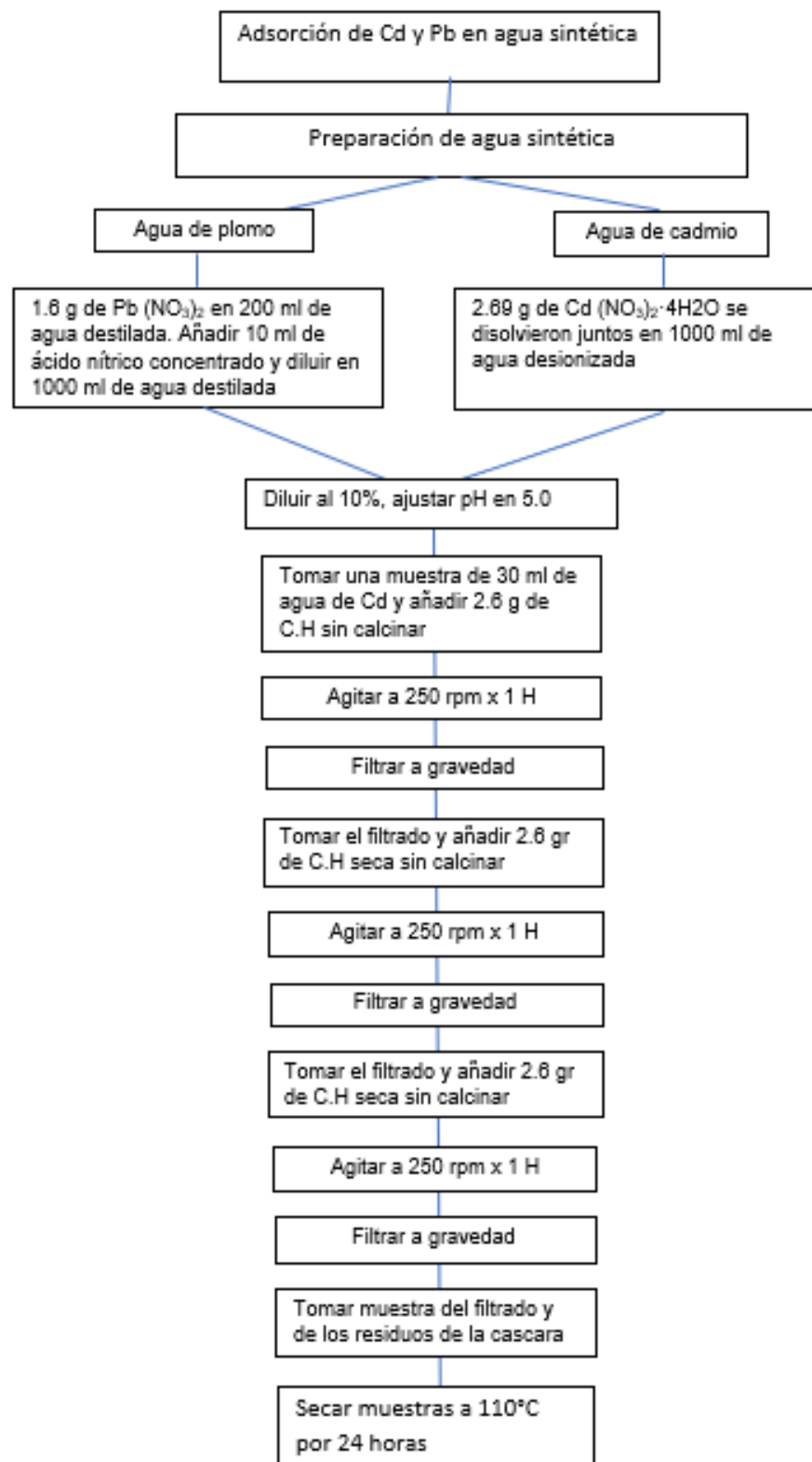


Figura 18- Metodología final propuesta

Fuente: El autor

Se destaca que para lograr una remoción del 90% de Cd y Pb no es necesario llevar a cabo una metodología tan elaborada, sin embargo, si es importante y necesario seguir estudiando las condiciones para su prueba en planas piloto para determinar la eficiencia a gran escala, así como otras posibilidades que permitan su optimización utilizando tanques de agitación y filtrado.

CONSIDERACIONES

Extremar las medidas de manejo de las muestras con la finalidad de tener una mayor exactitud en los resultados reportados una vez concluido el proceso de adsorción con la metodología propuesta.

Al llevar a cabo este proceso industrialmente, se debe considerar la variación de los resultados ya que en el ambiente de reacción se encuentran más contaminantes los cuales dependerán del agua a tratarse.

Utilizar un desecho de este tipo (como la cáscara de huevo) como adsorbente ayudará a reducir la contaminación del suelo como del agua, además de que se pueden reducir costos tras su aplicación como química verde

RECOMENDACIONES A FUTURO

- ✓ Optimizar la metodología propuesta en cuestión de tiempo de contacto; considerando resultados finales cercanos a la adsorción del 95% y 99% reportados en este trabajo
- ✓ Proponer una metodología para el proceso de desorción y tratamiento de residuos con la finalidad de convertir estos nuevos residuos en materia prima para otros procesos regulados con las normas correspondientes y requeridas.
- ✓ Analizar la isoterma de adsorción que describa correctamente el modelo desarrollado

COMPETENCIAS DESARROLLADAS

- ✚ Colabora en equipos interdisciplinarios y multiculturales en su ámbito laboral, con actitud innovadora, espíritu crítico, disposición al cambio y apego a la ética profesional.
- ✚ Utiliza las tecnologías de la información y comunicación como herramientas en la construcción de soluciones a problemas de ingeniería y difundir el conocimiento científico y tecnológico.
- ✚ Realiza innovación y adaptación de tecnología en procesos aplicando la metodología científica, con respeto a la propiedad intelectual.
- ✚ Utiliza un segundo idioma en su ámbito laboral según los requerimientos del entorno.
- ✚ Se comunica en forma oral y escrita en el ámbito laboral de manera expedita y concisa.
- ✚ Demuestra actitud creativa, emprendedora y de liderazgo para impulsar y crear empresas que contribuyan al progreso nacional.
- ✚ Demuestra actitudes de superación continua para lograr metas personales y profesionales con pertinencia y competitividad.

FUENTES DE INFORMACION

1. Bedoya-Salazar, A., & Valencia-González, M. P. (2020). Usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina (*Gallus gallus domesticus*): una revisión sistemática. *Revista Colombiana De Ciencia Animal Recia*. <https://doi.org/10.24188/recia.v12.n2.2020.776>
2. De Anda Valades, L. (2018, June 19). Normatividad para agua potable en México: De la gestión a la aplicación. *iAgua*. <https://www.iagua.es/blogs/luis-anda-valades/normatividad-aplicable-agua-potable-mexico-gestion-aplicacion>
3. Moreno-Rivas, S. C., & Montfort, G. R. (2018). Descontaminación de arsénico, cadmio y plomo en agua por biosorción con *Saccharomyces cerevisiae*. *Tip Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 21, 51. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.155>
4. Veterinaria Digital S.A. (2022, January 25). Panorama de la producción de huevo y del pollo de engorde en México. *Veterinaria Digital - Avicultura, Porcicultura, Rumiantes Y Acuicultura*. <https://www.veterinariadigital.com/articulos/panorama-de-la-produccion-de-huevo-y-del-pollo-de-engorde-en-mexico/#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20huevo%20en%20M%C3%A9xico%20para%202020%20fue%20de,2.8%25%20m%C3%A1s%20respecto%20a%202019>
5. Cabrera, O., & Cabrera, O. (2023, 20 junio). La cáscara de huevo: estructura, formación & qué factores afectan a su calidad. *aviNews, la Revista Global de Avicultura*. <https://avinews.com/la-cascara-de-huevo-estructura-formacion-que-factores-afectan-a-su-calidad/>
6. Remoción de cadmio y plomo de soluciones acuosas mediante semillas de guayaba modificadas con bromuro de hexadeciltrimetilamonio. (Tapia; 2021). Repositorio UMSNH.
7. Khaskheli, M. A., Abro, M. I., Chand, R., Elahi, E., Khokhar, F. M., Majidano, A. A., Aoud, E. H. E., & Rekik, N. (2021). Evaluating the effectiveness of eggshells to remove heavy metals from wastewater. *Desalination And Water Treatment*, 216, 239-245. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.26807>

[FVFafGw6%2FAgc2xLCY0ALeG2P6URFRz7WZ6hldZMqrPACsJ2LeaGeJ6B3cQZZBuLQ%2FWrFFSI0UT78za99bO4uPjorO3MwsF8KZnnXwpgg3vPVvhw2mvsf1EATa%2B7IXrNIWOXjlt459%2FDI99R%2BXvZL7XN%2F9a%2B1iKpbGX%2BEBCGack96x2s5KQN%2FGsxdjpBuKfaqzwBRNGRC7jJcyt3x1ZmcHwNBVGjOTJGNTTds7kXBrXNgy41jhOcnhR0x3AA27HkcTW1qh4opBI3Fy9ggH1i%2BWk4TGvwPda3dRjqqPTNEWqURz9glblO4rpqUHPp0RKNBxainfYqJDWbTFxye2n9qNQRf4L%2Fs%2BU%2BoNFIHDGIJZPjMho2Az2A9rJF2YcUki1jmaNwSA1DoS8vGVO2r2MG99brrlZHSXIektb60nQodYAYAd47DJhBGAb4RzkJFSwfNp0UnMIC%2FWVRHFGwHTVpbre%2FvmL7Z6WY5v7cuMZanxYJ20SY0j82Yib4AAH%2BH2F1OH3Agl%2BOpSPiJ5TDk7uuxyBP](#)

16. Editorial. (2021, 21 abril). Propiedades de la cáscara de. . . Botanical-online. <https://www.botanical-online.com/alimentos/cascara-huevo-propiedades>
17. Belhassan, H., Merzouki, M., Mouhri, G. E., Amakdouf, H., Lamrani, O., Haily, E. M., Massaoudi, Y., Boukir, A., & Benlemlih, M. (2023). High efficiency removal of heavy metals and organic pollutants from brassware using raw coal: Kinetic adsorption and optimized process. Results In Chemistry, 5, 100855. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2023.100855>
18. Elabbas, S., Mandi, L., Berrekhis, F., Pons, M., Leclerc, J., & Ouazzani, N. (2016). Removal of Cr(III) from chrome tanning wastewater by adsorption using two natural carbonaceous materials: Eggshell and powdered marble. Journal of Environmental Management, 166, 589–595. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.012>
19. Tipos de isoterma de adsorción. (s. f.). <https://lqi.tripod.com/FQAv/isoterms.htm>
20. M, M. C., H, M. G., E, G. L., Eyra, M. C., Bernardelli, C. E., Viera, M., & Donati, E. R. (2013, 1 junio). Estudio cinético e isotérmico de la biosorción de Zinc (II) y Cadmio (II) para un sistema monometálico-bimetálico por Undaria pinnatifida sp. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/104176>
21. Contaminación del agua por metales – agua.org.mx. (2017b, marzo 27). Agua.org.mx. <https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-metales/>

22. Del Agua, C. N. (s. f.). Usos del agua. gob.mx.
<https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/usos-del-agua>
23. Agua. Cuéntame de México. (s. f.).
<https://www.cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/sobreexplota.aspx?tema=T>
24. La membrana de la cáscara del huevo, nuevo ingrediente funcional | Instituto de Estudios del Huevo. (s. f.). <https://www.institutohuevo.com/la-membrana-de-la-cascara-del-huevo-nuevo-ingrediente-funcional/#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20la%20c%C3%A1scara,la%20elaboraci%C3%B3n%20de%20piensos%20animales.>
25. De Estadística E Información Ambiental, D. G. (s. f.). Informe del Medio Ambiente.
<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html>
26. Metales pesados. (2021, 10 septiembre). Argentina.gob.ar.
<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/control/productos-quimicos/metales-pesados#:~:text=Los%20metales%20pesados%20son%20aquellos,de%20productos%20de%20uso%20cotidiano.>
27. Eze, &Eze. (2022). Los metales pesados, según algunos autores, se clasifican como los elementos que Read more. Caracteristicass.de.
https://www.caracteristicass.de/metales-pesados/#google_vignette
28. Bedoya-Salazar, A., & Valencia-González, M. P. (2020). Usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina (*Gallusgallusdomesticus*): una revisión sistemática. Revista Colombiana de Ciencia Animal Recia, 12(2), e776.
<https://doi.org/10.24188/recia.v12.n2.2020.776>
29. Traxco. (2023). Eliminación de metales pesados en el agua. El Blog de Traxco.
<https://www.traxco.es/blog/noticias-agricolas/eliminar-metales-pesados-en-el-agua>
30. Prtr-España. (s. f.). PB (Plomo y Compuestos) | PRTR España. <https://prtr-es.es/pb-plomo-y-compuestos,15610,11,2007.html#:~:text=El%20plomo%20es%20un%20metal,con%20lentitud%20en%20%C3%A1cido%20n%C3%ADtrico>

31. Prtr-España. (s. f.-a). CD (Cadmio y compuestos) | PRTR España. <https://prtr-es.es/Cadmio-compuestos-759112007.html>
32. Sociedad Nuclear Española. (2011, 2 marzo). sorción. sne.es. <https://www.sne.es/diccionario-nuclear/sorcion/>
33. Fisisorción. (s. f.). <https://www.quimica.es/enciclopedia/Fisorci%C3%B3n.html>
34. Fisisorción y quimisorción. (2023, 4 diciembre). Genially. <https://view.genially.com/655ced0f388c630011784540/interactive-image-fisorcion-y-quimisorcion>
35. https://www.pediatrica.gob.mx/archivos/burbuja/13.4_NOM-127-SSA1-1994_Salud_Ambiental_Agua_limites_permisibles_de_calidad.pdf
36. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=761195&fecha=24/09/2001#gsc.tab=0
37. Mapel-Hernández, M. D., Armstrong-Altrin, J. S., Botello, A. V., & Lango-Reynoso, F. (2021). Bioavailability of Cd and Pb in sediments of the National Park Veracruz Reef System, Gulf of Mexico. Applied Geochemistry, 133, 105085. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.105085>
38. Grupo TAR. (s. f.). Tratamiento de potabilización del agua. Tecnología Ambiental. Recuperado 15 de marzo de 2024, de [http://elaguapotable.com/Tratamiento%20de%20potabilizacion%20del%20agua%20\(Grupo%20TAR\).pdf](http://elaguapotable.com/Tratamiento%20de%20potabilizacion%20del%20agua%20(Grupo%20TAR).pdf)
39. Lista completa de frases R y frases S. Descargar frases R, frases S. (2018, 4 julio). MSDS Europe. <https://www.msds-europe.com/es/frases-r-frases-s/>

FRASES “R”

- ❖ R1 – Explosivo en estado seco.
- ❖ R2 – Riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición.
- ❖ R3 – Alto riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición.
- ❖ R4 – Forma compuestos metálicos explosivos muy sensibles.
- ❖ R5 – Peligro de explosión en caso de calentamiento.
- ❖ R6 – Peligro de explosión, en contacto o sin contacto con el aire.
- ❖ R7 – Puede provocar incendios.
- ❖ R8 – Peligro de fuego en contacto con materias combustibles.
- ❖ R9 – Peligro de explosión al mezclar con materias combustibles.
- ❖ R10 – Inflamable.
- ❖ R11 – Fácilmente inflamable.
- ❖ R12 – Extremadamente inflamable.
- ❖ R14 – Reacciona violentamente con el agua.
- ❖ R15 – Reacciona con el agua liberando gases extremadamente inflamables.
- ❖ R16 – Puede explosionar en mezcla con sustancias comburentes.
- ❖ R17 – Se inflama espontáneamente en contacto con el aire.
- ❖ R18 – Al usarlo pueden formarse mezclas aire-vapor explosivas/inflamables.
- ❖ R19 – Puede formar peróxidos explosivos.
- ❖ R20 – Nocivo por inhalación.
- ❖ R21 – Nocivo en contacto con la piel.
- ❖ R22 – Nocivo por ingestión.
- ❖ R23 – Tóxico por inhalación.
- ❖ R24 – Tóxico en contacto con la piel.
- ❖ R25 – Tóxico por ingestión.
- ❖ R26 – Muy tóxico por inhalación.
- ❖ R27 – Muy tóxico en contacto con la piel.
- ❖ R28 – Muy tóxico por ingestión.
- ❖ R29 – En contacto con agua libera gases tóxicos.

- ❖ R30 – Puede inflamarse fácilmente al usarlo.
- ❖ R31 – En contacto con ácidos libera gases tóxicos.
- ❖ R32 – En contacto con ácidos libera gases muy tóxicos.
- ❖ R33 – Peligro de efectos acumulativos.
- ❖ R34 – Provoca quemaduras.
- ❖ R35 – Provoca quemaduras graves.
- ❖ R36 – Irrita los ojos.
- ❖ R37 – Irrita las vías respiratorias.
- ❖ R38 – Irrita la piel.
- ❖ R39 – Peligro de efectos irreversibles muy graves.
- ❖ R40 – Posibles efectos cancerígenos.
- ❖ R41 – Riesgo de lesiones oculares graves.
- ❖ R42 – Posibilidad de sensibilización por inhalación.
- ❖ R43 – Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.
- ❖ R44 – Riesgo de explosión al calentarlo en ambiente confinado.
- ❖ R45 – Puede causar cáncer.
- ❖ R46 – Puede causar alteraciones genéticas hereditarias.
- ❖ R48 – Riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada.
- ❖ R49 – Puede causar cáncer por inhalación.
- ❖ R50 – Muy tóxico para los organismos acuáticos.
- ❖ R51 – Tóxico para los organismos acuáticos.
- ❖ R52 – Nocivo para los organismos acuáticos.
- ❖ R53 – Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- ❖ R54 – Tóxico para la flora.
- ❖ R55 – Tóxico para la fauna.
- ❖ R56 – Tóxico para los organismos del suelo.
- ❖ R57 – Tóxico para las abejas.
- ❖ R58 – Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente.
- ❖ R59 – Peligroso para la capa de ozono.
- ❖ R60 – Puede perjudicar la fertilidad.

- ❖ R61 – Riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.
- ❖ R62 – Posible riesgo de perjudicar la fertilidad.
- ❖ R63 – Posible riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.
- ❖ R64 – Puede perjudicar a los niños alimentados con leche materna.
- ❖ R65 – Nocivo: si se ingiere puede causar daño pulmonar.
- ❖ R66 – La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel.
- ❖ R67 – La inhalación de vapores puede provocar somnolencia y vértigo.
- ❖ R68 – Posibilidad de efectos irreversibles.
- ❖ R14/15 – Reacciona violentamente con el agua, liberando gases extremadamente inflamables.
- ❖ R15/29 – En contacto con el agua, libera gases tóxicos y extremadamente inflamables.
- ❖ R20/21 – Nocivo por inhalación y en contacto con la piel.
- ❖ R20/22 – Nocivo por inhalación y por ingestión.
- ❖ R21/22 – Nocivo en contacto con la piel y por ingestión.
- ❖ R20/21/22 – Nocivo por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.
- ❖ R23/24 – Tóxico por inhalación y en contacto con la piel.
- ❖ R24/25 – Tóxico en contacto con la piel y por ingestión.
- ❖ R23/25 -Tóxico por inhalación y por ingestión.
- ❖ R23/24/25 – Tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.
- ❖ R26/27 – Muy tóxico por inhalación y en contacto con la piel.
- ❖ R26/28 – Muy tóxico por inhalación y por ingestión.
- ❖ R26/27/28 – Muy tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.
- ❖ R27/28 – Muy tóxico en contacto con la piel y por ingestión.
- ❖ R36/37 – Irrita los ojos y las vías respiratorias.
- ❖ R36/38 – Irrita los ojos y la piel.
- ❖ R37/38 – Irrita las vías respiratorias y la piel.
- ❖ R36/37/38 – Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.
- ❖ R39/23 – Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación.

- ❖ R39/24 – Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel.
- ❖ R39/25 – Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por ingestión.
- ❖ R39/32/24 – Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación y contacto con la piel.
- ❖ R39/23/25 – Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación e ingestión.
- ❖ R39/24/25 – Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel e ingestión.
- ❖ R36/23/24/25 – Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- ❖ R39/26 – Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación.
- ❖ R39/26/27 – Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación y contacto con la piel.
- ❖ R39/27 – Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel.
- ❖ R39/28 – Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por ingestión.
- ❖ R 39/26/28 – Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación e ingestión.
- ❖ R 39/27/28 – Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel e ingestión.
- ❖ R 39/26/27/28 – Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- ❖ R 68/20 – Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación.
- ❖ R 68/21 – Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por contacto con la piel.
- ❖ R 68/22 – Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por ingestión.
- ❖ R 68/20/21 – Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación y contacto con la piel.
- ❖ R 68/20/22 – Nocivo: Posibilidad de efectos irreversibles por inhalación e ingestión.

- ❖ R 68/21/22 – Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por contacto con la piel e ingestión.
- ❖ R 68/20/21/22 – Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- ❖ R 42/43 – Posibilidad de sensibilización por inhalación y por contacto con la piel.
- ❖ R 48/20 – Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación.
- ❖ R 48/21 – Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel.
- ❖ R 48/22 – Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión.
- ❖ R 48/20/21 – Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación y contacto con la piel.
- ❖ R 48/20/22 – Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación e ingestión.
- ❖ R 48/21/22 – Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel e ingestión.
- ❖ R 48/20/21/22 – Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- ❖ R 48/23 – Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación.
- ❖ R 48/24 – Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel.
- ❖ R 48/25 – Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión.
- ❖ R 48/23/24 – Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación y contacto con la piel.
- ❖ R 48/23/25 – Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación e ingestión.
- ❖ R 48/24/25 – Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel e ingestión.

- ❖ R 48/23/24/25 – Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- ❖ R 50/53 – Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- ❖ R 51/53 – Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- ❖ R 52/53 – Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- ❖ (Lista Completa de Frases R y Frases S. Descargar Frases R, Frases S, 2018)

FRASES “S”

- ❖ S 1 – Consérvese bajo llave.
- ❖ S 2 – Manténgase fuera del alcance de los niños.
- ❖ S 3 – Consérvese en lugar fresco.
- ❖ S 4 – Manténgase lejos de locales habitados.
- ❖ S 5 – Consérvese en ... (líquido apropiado a especificar por el fabricante).
- ❖ S 6 – Consérvese en ... (gas inerte a especificar por el fabricante).
- ❖ S 7 – Manténgase el recipiente bien cerrado.
- ❖ S 8 – Manténgase el recipiente en lugar seco.
- ❖ S 9 -Consérvese el recipiente en lugar bien ventilado.
- ❖ S 12 – No cerrar el recipiente herméticamente.
- ❖ S 13 – Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos.
- ❖ S 14 – Consérvese lejos de ... (materiales incompatibles a especificar por el fabricante).
- ❖ S 15 – Conservar alejado del calor.
- ❖ S 16 – Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas — No fumar.
- ❖ S 17 – Manténgase lejos de materias combustibles.
- ❖ S 18 – Manipúlese y ábrase el recipiente con prudencia.
- ❖ S 20 – No comer ni beber durante su utilización.
- ❖ S 21 – No fumar durante su utilización.
- ❖ S 22 – No respirar el polvo.
- ❖ S 23 – No respirar los gases/humos/vapores/aerosoles (denominación(es) adecuada(s) a especificar por el fabricante).
- ❖ S 24 – Evítese el contacto con la piel.
- ❖ S 25 – Evítese el contacto con los ojos.
- ❖ S 26 – En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.
- ❖ S 27 – Quítese inmediatamente la ropa manchada o salpicada.
- ❖ S 28 – En caso de contacto con la piel, lávese inmediata y abundantemente con ... (productos a especificar por el fabricante).

- ❖ S 29 – No tirar los residuos por el desagüe.
- ❖ S 30 – No echar jamás agua a este producto.
- ❖ S 33 – Evítese la acumulación de cargas electroestáticas.
- ❖ S 35 – Elimínense los residuos del producto y sus recipientes con todas las precauciones posibles.
- ❖ S 36 – Úsese indumentaria protectora adecuada.
- ❖ S 37 – Úsense guantes adecuados.
- ❖ S 38 – En caso de ventilación insuficiente, úsese equipo respiratorio adecuado.
- ❖ S 39 – Úsese protección para los ojos/la cara.
- ❖ S 40 – Para limpiar el suelo y los objetos contaminados por este producto, úsese ... (a especificar por el fabricante).
- ❖ S 41 – En caso de incendio y/o de explosión no respire los humos.
- ❖ S 42 – Durante las fumigaciones/pulverizaciones, úsese equipo respiratorio adecuado (denominación(es) adecuada(s) a especificar por el fabricante).
- ❖ S 43 – En caso de incendio, utilizar ... (los medios de extinción los debe especificar el fabricante). (Si el agua aumenta el riesgo, se deberá añadir: »No usar nunca agua«).
- ❖ S 45 -En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstresele la etiqueta).
- ❖ S 46 – En caso de ingestión, acúdase inmediatamente al médico y muéstresele la etiqueta o el envase.
- ❖ S 47 – Consérvese a una temperatura no superior a ... °C (a especificar por el fabricante).
- ❖ S 48 – Consérvese húmedo con ... (medio apropiado a especificar por el fabricante).
- ❖ S 49 – Consérvese únicamente en el recipiente de origen.
- ❖ S 50 – No mezclar con ... (a especificar por el fabricante).
- ❖ S 51 – Úsese únicamente en lugares bien ventilados.
- ❖ S 52 – No usar sobre grandes superficies en locales habitados.
- ❖ S 53 – Evítese la exposición — recábense instrucciones especiales antes del uso.

- ❖ S 56 – Elimínense esta sustancia y su recipiente en un punto de recogida pública de residuos especiales o peligrosos.
- ❖ S 57 – Utilícese un envase de seguridad adecuado para evitar la contaminación del medio ambiente.
- ❖ S 59 – Remitirse al fabricante o proveedor para obtener información sobre su recuperación/reciclado.
- ❖ S 60 – Elimínense el producto y su recipiente como residuos peligrosos.
- ❖ S 61 – Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.
- ❖ S 62 – En caso de ingestión no provocar el vómito: acúdase inmediatamente al médico y muéstresele la etiqueta o el envase.
- ❖ S 63 – En caso de accidente por inhalación, alejar a la víctima de la zona contaminada y mantenerla en reposo.
- ❖ S 64 – En caso de ingestión, enjuáguese la boca con agua (solamente si la persona está consciente).
- ❖ S 1/2 – Consérvese bajo llave y manténgase fuera del alcance de los niños.
- ❖ S 3/7 – Consérvese el recipiente bien cerrado y en lugar fresco.
- ❖ S 3/9/14 – Consérvese en lugar fresco y bien ventilado y lejos de ... (materiales incompatibles, a especificar por el fabricante).
- ❖ S 3/9/49 – Consérvese únicamente en el recipiente de origen, en lugar fresco y bien ventilado.
- ❖ S 3/9/14/49 – Consérvese únicamente en el recipiente de origen, en lugar fresco y bien ventilado y lejos de ... (materiales incompatibles, a especificar por el fabricante).
- ❖ S 3/14 – Consérvese en lugar fresco y lejos de ... (materiales incompatibles, a especificar por el fabricante).
- ❖ S 7/8 – Manténgase el recipiente bien cerrado y en lugar seco.
- ❖ S 7/9 – Manténgase el recipiente bien cerrado y en lugar bien ventilado.
- ❖ S 7/47 – Manténgase el recipiente bien cerrado y consérvese a una temperatura no superior a ... C (a especificar por el fabricante).
- ❖ S 20/21 – No comer, ni beber, ni fumar durante su utilización.

- ❖ S 24/25 – Evítese el contacto con los ojos y la piel.
- ❖ S 27/28 – Después del contacto con la piel, quítese inmediatamente toda la ropa manchada o salpicada y lávese inmediata y abundantemente con ... (productos a especificar por el fabricante).
- ❖ S 29/35 – No tirar los residuos por el desagüe; elimínense los residuos del producto y sus recipientes con todas las precauciones posibles.
- ❖ S 29/56 – No tirar los residuos por el desagüe; elimínese esta sustancia y su recipiente en un punto de recogida pública de residuos especiales o peligrosos.
- ❖ S 36/37 – Úsense indumentaria y guantes de protección adecuados.
- ❖ S 36/39 – Úsense indumentaria adecuada y protección para los ojos/la cara.
- ❖ S 37/39 – Úsense guantes adecuados y protección para los ojos/la cara.
- ❖ S 36/37/39 – Úsense indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos/la cara.
- ❖ S 47/49 – Consérvese únicamente en el recipiente de origen y a temperatura no superior a ... °C (a especificar por el fabricante).

(Lista Completa de Frases R y Frases S. Descargar Frases R, Frases S, 2018)