

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA
ESCUELA DE POSGRADO



TESIS

“REMOCIÓN DE COBRE Y PLOMO DE EFLUENTES
ACUOSOS EMPLEANDO SULFURO DE CADMIO
COMO NANOADSORBENTE”

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRA EN CIENCIAS
CON MENCIÓN EN MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE

ELABORADA POR:
ZALY YOLANDA PALACIOS EGOAVIL

ASESOR:
Dra. Ing. ORFELINDA AVALO CORTEZ

LIMA – PERÚ
2025

DEDICATORIA

A Dios, por darme salud y permitirme disfrutar de la vida; a mi madre por sus valiosos consejos, y que hoy desde el cielo su luz y energía me acompañan cada día; a mi padre por su compañía y apoyo incondicional; a mi amado esposo Daniel, por su amor sincero y por sentir que juntos somos más fuertes; a mis hijos Nicolás y Camila, mis bendiciones, por su amor infinito, que me inspiran a ser mejor persona cada día; a mis hermanos Jorge y Cesar; y a mis sobrinos Jorge, Gabriel y Victoria Eugenia, a quienes adoro y que siempre los tuve presente durante el tiempo de esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Un profundo agradecimiento, a las personas que directa e indirectamente han apoyado este proyecto de investigación hasta su finalización.

- A la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería, por permitirme el uso del Laboratorio de Nanomateriales y Metalurgia, para el desarrollo de la presente investigación.
- Al Laboratorio de Espectrometría, por la caracterización de Pb y Cu presentes en las soluciones de ensayo.
- A la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería, por el análisis de Difracción de Rayos X (DRX) y por el análisis de Microscopia de Barrido (SEM) de la muestra del nanoadsorbente CdS.
- A la Dra. Orfelinda Avalo Cortez, mi asesora, por su orientación constante, y asesoramiento en el presente trabajo de investigación.
- Al MSc. Ing. David Martínez Aguilar por su apoyo durante la ejecución de los ensayos en el laboratorio.
- Finalmente, un agradecimiento especial a mis queridas amigas, Melina Pacchini y Yovanna Palomares, por los buenos momentos compartidos en el laboratorio de ensayo y por su sincera amistad.

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
INDICE DE CONTENIDO	IV
INDICE DE TABLAS	VI
INDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	15
1.1 Antecedentes de la Investigación	15
1.1.1 Sulfuro de Cadmio (CdS), síntesis, caracterización y	15
1.1.2 Sulfuro de Cadmio como nanoadsorbente de remoción	17
1.1.3 Nanoadsorbentes para la remoción de cobre y plomo en medio	18
1.1.4 Remoción de cobre y plomo en efluentes acuosos	21
1.2 Antecedentes de Normativa Ambiental	24
1.3 Justificación e importancia de la investigación	25
1.4 Objetivos de la investigación	25
1.5 Hipótesis	26
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL	27
2.1 Sulfuro de Cadmio	27
2.2 Síntesis, caracterización y aplicaciones de Sulfuro de Cadmio,	28
2.2.1 Síntesis del Sulfuro de Cadmio, CdS	28
2.2.2 Caracterización del CdS	36
2.2.3 Aplicaciones del Sulfuro de Cadmio, CdS	41
2.3 Cobre	43
2.3.1 Efectos del cobre sobre la salud	44
2.3.2 Efectos ambientales del cobre	45
2.4 Plomo	45
2.4.1 Efectos del plomo sobre la salud	46
2.4.2 Efectos ambientales del plomo	47
2.4.3 Análisis químico por adsorción atómica	47
2.5 Técnicas Convencionales de remoción de Cobre y Plomo	47
2.5.1 Precipitación química	47
2.5.2 Intercambio Iónico	49
2.5.3 Electrodialisis	50

2.5.4	Filtración por membrana	50
2.5.5	Flotación	51
2.5.6	Electroquímico	52
2.5.7	Coagulación / Floculación	53
2.5.8	Adsorción	54
2.6	Nanoadsorbentes para la remoción de Cobre (Cu) y Plomo (Pb), en medio acuoso.	55
	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	58
3.1	Descripción de la metodología de investigación	58
3.2	Desarrollo del trabajo de tesis	59
3.2.1	Síntesis de nanopartículas de Sulfuro de Cadmio	60
3.2.2	Caracterización microestructural por Difracción de Rayos-X (DRX) de las muestras de sulfuro de cadmio, CdS.	76
3.2.3	Caracterización microestructural por Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) de las muestras sintetizadas.	76
3.2.4	Pruebas Experimentales de remoción de Cu y Pb utilizando la Muestra de espesor empleando nanoadsorbentes de CdS.	76
	CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	80
4.1	Análisis de datos y resultados	80
4.1.1	Análisis de los resultados de Difracción de Rayos-X (DRX) del CdS sintetizada utilizando EDTA.	80
4.1.2	Análisis de los resultados de Difracción de Rayos-X (DRX) del CdS sintetizada utilizando Sulfato de Hidracina.	81
4.1.3	Análisis de los resultados de la Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) del CdS sintetizado.	84
4.1.4	Análisis de los resultados de las pruebas de Análisis elemental mediante EDS, en el Microscopio Electrónico de Barrido.	86
4.1.5	Análisis de los resultados obtenidos de los Ensayos de remoción con CdS sintetizado con EDTA.	88
4.2	Discusión e interpretación de los Resultados.	90
4.3	Contratación de la Hipótesis	92
	CONCLUSIONES	94
	RECOMENDACIONES	95
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
	ANEXOS	103
	ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA	104
	ANEXO 2: RESULTADOS DE LABORATORIO	106
	ANEXO 3: OTROS	107
	ANEXO 4: CURRICULUM VITAE	108

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 LMPs establecidos por el D.S. N° 010-2010-MINAM	24
Tabla 2 Comparación entre la normatividad ambiental nacional e internacional - Calidad de efluentes y cuerpo receptor	25
Tabla 3 Propiedades del Sulfuro de Cadmio	27
Tabla 4 Características del Cobre (Cu)	43
Tabla 5 Características del Plomo (Pb)	46
Tabla 6 Resultados de las pruebas de Análisis elemental mediante EDS, en el Microscopio Electrónico de Barrido, de la muestra de CdS sintetizada con EDTA.	86
Tabla 7 Resultados de las pruebas de Análisis elemental mediante EDS, en el Microscopio Electrónico de Barrido, de la muestra de CdS sintetizada con Sulfato de Hidracina.	87
Tabla 8 Resultados de laboratorio – Aplicación de CdS para la remoción de Cu y Pb en la muestra del espesador.	88
Tabla 9 Porcentaje (%) de remoción de Cu, Pb y Zn en la Muestra del Espesador a pH=7.1	89

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1	Estructuras cristalinas llamadas Wurtzita Hexagonal 27
Figura 2	Presentación esquemática de la formación de NPs de CdS 29
Figura 3	Figura esquemática de diferentes etapas en la síntesis verde de nanopartículas de CdS por extracto de planta. 30
Figura 4	Mecanismo potencial de biosíntesis de las NPs de CdS 31
Figura 5	Esquema de la síntesis utilizando el método de precipitación química. 32
Figura 6	Proceso de morfología-evolución de nanoestructuras de CdS en forma de flor a diferentes tiempos solvotérmicos a) 0.5 h, b) 1 h, c) 3 h, d) 6 h, e) 9 h y f) 18 h. 33
Figura 7	Ruta de síntesis de Sol-Gel 34
Figura 8	Esquema de síntesis de (a) una microemulsión y (b) dos microemulsiones. 35
Figura 9	Métodos de caracterización de las nanopartículas de CdS 37
Figura 10	Patrón de DRX de las nanopartículas de CdS en función de la temperatura de reacción (20°C, 40°C, 60°C y 80°C). 38
Figura 11	Espectroscopia Raman de las nanopartículas de CdS a diferentes temperaturas entre 20°C y 80°C. 38
Figura 12	Imágenes FE-SEM de las nanopartículas de CdS a diferentes temperaturas entre 20°C y 80°C. 39
Figura 13	Espectro EDS de las nanopartículas de CdS a diferentes temperaturas entre 20°C y 80°C. 39
Figura 14	Imagen TEM de las nanopartículas de CdS a diferentes temperaturas entre 20°C y 80°C. 40
Figura 15	Los espectros de absorción UV-visible de las nanopartículas de CdS sintetizadas a diferentes temperaturas de reacción. 40
Figura 16	Imagen HR TEM de las nanopartículas de CdS a diferentes temperaturas entre 20°C y 80°C. 41

		Pág.
Figura 17	Aplicaciones de las nanopartículas de sulfuro de cadmio, CdS.	42
Figura 18	Método de coprecipitación para la eliminación de iones de cobre de aguas residuales.	48
Figura 19	Diagrama de intercambio iónico	49
Figura 20	Uso de la tecnología filtración por membrana para el tratamiento del cobre.	51
Figura 21	Remoción de Cu mediante el método de flotación por aire disuelto	52
Figura 22	Tratamiento electroquímico para la eliminación de Cu.	53
Figura 23	Eliminación de Cu mediante el proceso de coagulación/floculación.	54
Figura 24	Uso de nanomateriales que eliminan iones de metales pesados	57
Figura 25	Uso de nanoadsorbentes para eliminar iones cobre	57
Figura 26	Reactivos utilizados para el procedimiento experimental.	60
Figura 27	Reactivos pesados CdSO ₄ (1M), Na ₂ S (1M), EDTA (0.1M)	61
Figura 28	Preparación de las soluciones de CdSO ₄ , Na ₂ S y EDTA.	62
Figura 29	Obtención del pH de la solución de Na ₂ S, EDTA, CdSO ₄	62
Figura 30	(A) Solución de EDTA con agitación de 500RPM, (B) se agrega la solución CdSO ₄ .	63
Figura 31	A) Solución con agitación de 500RPM, B) Solución con agitación de 800RPM.	63
Figura 32	A) Solución en reposo de 20 minutos, B) Solución en reposo de 120 minutos.	64
Figura 33	Medición de pH de la solución	64
Figura 34	A) Colocación de la solución en la centrifugadora, B) Se programa la centrifugación a 3500 RPM por 5 minutos.	65
Figura 35	A) 5 pruebas de lavado. B) Precipitado colocado en un crisol.	65
Figura 36	A) Crisol colocado en la Estufa, B) Secado programado a 100 °C por dos horas en Estufa	66
Figura 37	A) Muestra recién salida de la Estufa B) Muestra en procesos de desaglomeración.	66
Figura 38	A) Pesaje de la muestra final, B) Muestra final almacenada.	67
Figura 39	A) Pesaje del insumo precursor (CdCl ₂ .H ₂ O), B) Pesaje del insumo precursor (Na ₂ S)	68

	Pág.
Figura 40	Pesaje del agente reductor ($\text{H}_6\text{N}_2\text{SO}_4$) 69
Figura 41	Preparación de las soluciones de CdCl_2 , Na_2S y $\text{H}_6\text{N}_2\text{SO}_4$ 69
Figura 42	Soluciones de CdCl_2 , Na_2S y $\text{H}_6\text{N}_2\text{SO}_4$ e Hidróxido de Amonio 70
Figura 43	Obtención del pH de las soluciones 70
Figura 44	A) Solución de CdCl_2 H_2O con agitación de 400RPM. B) Vertimiento de la solución $\text{N}_2\text{H}_6\text{SO}_4$, sobre la solución CdCl_2 H_2O 71
Figura 45	A) Vertido de NH_4OH a la mezcla, B) Mezcla a 39°C 71
Figura 46	A) Cambio de color de la solución a anaranjado. B) Solución con agitación de 400RPM a 700RPM. 72
Figura 47	A) Solución en reposo de 5 min. B) Solución en reposo de 30 min. 72
Figura 48	Medición de pH en la solución. 73
Figura 49	A) Solución decantada, b) Solución enrazada con agua destilada hasta los 45 mL. 73
Figura 50	A) Colocación de la solución en la centrifugadora, B) Se programa la centrifugación a 3500 RPM por 5 minutos. 74
Figura 51	A) Vertimiento del sobrenadante al vaso precipitado. B) Se enraza la solución hasta los 45 mL 74
Figura 52	A) Muestra seca, B) Muestra desaglomerada. 75
Figura 53	A) Pesaje de la muestra final, B) Muestra final almacenada. 75
Figura 54	Medición de pH del efluente industrial 77
Figura 55	Pesaje de nanopartículas CdS. 78
Figura 56	Aplicación de nanopartículas a las soluciones acuosas 78
Figura 57	Remoción de Cu y Pb empleando nanopartículas de CdS a diferentes tiempos de remoción en Plancha con Agitador Magnético. 79
Figura 58	Tubos rotulados con su respectivo código para su posterior análisis de laboratorio. 79
Figura 59	Análisis del difractograma DRX de la muestra CdS sintetizada con el EDTA como agente reductor. 80
Figura 60	Determinación del tamaño del cristalito del CdS sintetizada con el EDTA. 81

		Pág.
Figura 61	Análisis del difractograma DRX de la muestra CdS sintetizada con el Sulfato de Hidracina como agente reductor.	82
Figura 62	Determinación del tamaño del cristalito del CdS sintetizado que es Greenockita.	83
Figura 63	Determinación del tamaño del cristalito del CdS que es la Hawleyita.	83
Figura 64	Micrografía por Microscopia Electrónica de Barrido, SEM de la muestra de CdS, Hawleyita, a 20,000 aumentos.	84
Figura 65	Micrografía por Microscopia Electrónica de Barrido, SEM de la muestra de CdS, Hawleyita, a 100,000 aumentos.	85
Figura 66	Micrografía por Microscopia Electrónica de Barrido, SEM de la muestra de CdS, Hawleyita, a 200,000 aumentos y determinación de tamaño de partícula con Software ImageJ.	85
Figura 67	Imagen Elemental del EDS, de la muestra de CdS sintetizada con EDTA.	86
Figura 68	Imagen Elemental del EDS, de la muestra de CdS sintetizada con Sulfato de Hidracina.	87
Figura 69	Remoción de Cobre (Cu) por debajo del LMP.	88
Figura 70	Remoción de Plomo (Pb) por debajo del LMP.	89
Figura 71	Gráfica del porcentaje (%) de remoción de Cu, Pb y Zn de la muestra Espesador empleando Cu sintetizado.	90

RESUMEN

Es importante un buen tratamiento para los efluentes mineros, ya que, si este es eficiente, permitirá la recuperación de minerales y minimizará el impacto de sustancias tóxicas al cuerpo de agua.

Considerando que existe actualmente una variedad de tratamientos para efluentes, en el presente trabajo se menciona una alternativa para el tratamiento de cobre y plomo, que se encuentran en efluentes acuosos mineros el cual es una amenaza para el ambiente; y un potencial riesgo para la salud humana y los factores ambientales.

En la presente investigación se usaron nanopartículas de sulfato de cadmio (CdS), en calidad de nanoadsorbente, para la remoción de iones de cobre (Cu) y plomo (Pb) presentes en el efluente industrial. La caracterización de nanopartículas fue realizada por la Difracción de Rayos-X (DRX) y por Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) cuyas conclusiones indicaron que los tamaños de cristalito de CdS fueron menores a 100nm y cuyas formas fueron de varillas y cuasiesféricas. El efluente industrial obtuvo un pH=6.78, y una concentración inicial de Cobre 0.198 mg/L y de Plomo 0.843 mg/L. Por lo tanto, los resultados obtenidos se determinaron que la mayor eficiencia de remoción de cobre (Cu) y plomo (Pb) a partir de efluentes industriales, se obtuvo al usar 0.005 gr de CdS en 25 mL de la muestra a pH=6.78 durante 20 min y una agitación de 300RPM, logrando 98,79% de remoción de Cu, y 98.30% de remoción de Pb.

Palabras clave: Cobre, Plomo, efluentes acuosos, nanoadsorbente, sulfato de cadmio.

ABSTRACT

Good treatment of mining effluents is important because, if it is efficient, it will allow the recovery of minerals and minimize the impact of toxic substances in the water body.

Considering that there are currently a variety of effluent treatments, this paper presents an alternative for the treatment of copper and lead, present in aqueous mining effluents, which is a threat to the environment, and a potential risk to human health and environmental factors.

In the present investigation, cadmium sulfate (CdS) nanoparticles were used as a nanoadsorbent for the removal of copper (Cu) and lead (Pb) ions present in the industrial effluent. Nanoparticle characterization was performed by X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM) whose conclusions indicated that the crystallite sizes of CdS were smaller than 100nm and whose shapes were rod and quasi-spherical. The industrial effluent obtained a pH=6.78, and an initial concentration of Copper 0.198 mg/L and Lead 0.843 mg/L. Therefore, the results obtained determined that the highest removal efficiency of copper (Cu) and lead (Pb) from industrial effluents was obtained by using 0.005 gr of CdS in 25 mL of the sample at pH=6.78 for 20 min and an agitation of 300RPM, achieving 98.79% removal of Cu, and 98.30% removal of Pb.

Keywords: Copper, Lead, aqueous effluents, nanoadsorbent, Cadmium Sulfide (CdS).

INTRODUCCIÓN

La actividad minera es muy importante para el desarrollo económico del país, sin embargo, su operación genera daños a los cuerpos de agua natural, debido a la generación de efluentes industriales, que tienen el pH sumamente alterado, y concentraciones de minerales elevadas, los cuales necesitan tratamientos complementarios adicionales para lograr el cumplimiento de las normativas ambientales aplicadas al Perú, como son los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (D.S. N°010-2010-MINAM).

Se han investigado muchos procesos físicos y químicos para la eliminación de iones de metales pesados en efluentes industriales, como la precipitación química, el intercambio iónico, electrodiálisis, filtración por membrana, flotación, electroquímico, coagulación/floculación, y la adsorción. Entre estas técnicas, la adsorción se considera la más prometedora debido a su funcionamiento limpio y rápido, su alta eficiencia, su facilidad de manejo, y la disponibilidad de diferentes adsorbentes. (Golkhah, 2017).

Los nanoadsorbentes son bastante eficaces para la adsorción rápida de iones de metales pesados de soluciones acuosas debido a sus elevadas áreas superficiales específicas, alta especificidad, alta reactividad, funcionamiento sencillo y ausencia de resistencia a la difusión interna.

Para el presente trabajo, se utilizó las nanopartículas de sulfuro de cadmio (CdS NPs) debido a sus particulares características de tamaño y forma, buena estabilidad química y técnicas de preparación fáciles. El CdS se sintetizó utilizando el método de precipitación química, la cual es de fácil síntesis, requiere poco tiempo de reacción, tiene un procesamiento relativamente sencillo, y óptima pureza.

El Sulfuro de Cadmio (CdS) sintetizado fue utilizado como potencial agente adsorbente, para la remoción del Cobre (Cu) y Plomo (Pb) presente en un efluente industrial proveniente de la actividad minera. La eficiencia de la adsorción depende de algunos parámetros: pH, dosis de adsorbente, concentración inicial de la solución del cobre, temperatura y tiempo de contacto. Para comprender el proceso de adsorción, se aplicaron estudios de cinética de adsorción e isoterma de adsorción para verificar el mecanismo de mejor ajuste del proceso de adsorción. La cinética de pseudo-segundo orden seguida del modelo de isoterma de adsorción de Langmuir es el modelo más ajustado para eliminar cobre utilizando CdS.

La presente tesis se justifica debido a la búsqueda de alternativas viables para el tratamiento de efluentes mineros y que a la vez puedan cumplir con la normativa ambiental vigente. Para el presente trabajo de investigación, se buscó comprobar, que el nanoadsorbente utilizado de sulfuro de cadmio (CdS) remueve el Cu y Pb presentes en efluentes acuosos.

El presente estudio tuvo un alcance a varias pruebas de laboratorio para poder demostrar la remoción efectiva de cobre (Cu) y de plomo (Pb), utilizando Sulfuro de Cadmio como nanoadsorbente.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 Antecedentes de la Investigación

1.1.1 Sulfuro de Cadmio (CdS), síntesis, caracterización y aplicaciones.

Durante los últimos años, ha habido un creciente interés en la investigación sobre la síntesis, caracterización y aplicaciones de las nanoestructuras de sulfuro de cadmio, CdS) en diversas formas, incluidas las nanopartículas, para eliminar contaminantes que incluyen metales pesados como Cu y Pb. En este sentido, a continuación, se detallan algunas referencias relativas a la síntesis y aplicaciones del CdS, que podrían ser utilizadas en la muestra de efluente industrial de la presente investigación.

DABHANE, H., et al. (2021), mencionó que la forma más asequible, eficiente, amigable y biocompatible de crear NPs de CdS es la síntesis biogénica utilizando microorganismos como bacterias, hongos, algas, enzimas, proteínas y partes de plantas. En la síntesis biogénica de CdS, el cadmio se somete a biorreducción por la variedad de productos naturales presentes tanto en microorganismos como en plantas. Se propusieron varios mecanismos para explicar la síntesis biogénica de las nanopartículas de CdS utilizando el extracto de diversas partes de la planta, como la hoja, la semilla, la flor, el fruto, el tallo, la cáscara, el látex y la corteza. De los cuales se menciona especialmente, al extracto de cáscara de plátano, el extracto de *Camellia sinensis*, y la corteza de Sandia; y como microorganismos utilizados fueron el *Lactobacillus* sp, *Bacillus licheniformes*, y la proteína Zein.

BHATTARAI, B., et al. (2019), utilizaron el método de coprecipitación química húmeda para llevar a cabo la síntesis del CdS, usando como los principales precursores el cloruro de cadmio (CdCl_2) y el sulfuro de sodio (Na_2S). En el análisis XRD se consiguió ver que las partículas estaban en fase hexagonal. El ácido ascórbico es utilizado como agente de recubrimiento para el antiaglomerado y la oxidación. El tamaño medio de las partículas medido

mediante la ecuación de Debye-Scherrer resultó ser dependiente de la temperatura, 3,1 nm a 20 °C y 3,4 nm a 45 °C. Siguieron un efecto de tamaño cuántico y aumento de la brecha de banda con la disminución del tamaño de partículas. Los tamaños medios de las partículas obtenidos por DRX, TEM y espectroscopia UV-visible son coincidentes en el rango de 3-5 nm.

LOUDHAIEF, N., et al. (2018) utilizaron el método hidrotérmico el cual se utiliza para sintetizar nanopartículas de CdS con buena cristalinidad y tamaño de 12 nm. Los resultados demostraron que las muestras sintetizadas con una pequeña cantidad de nanopartículas de CdS ($\leq 0,3\%$ en peso) presentan mayores densidades de corriente crítica y energía de fijación en campos magnéticos, en comparación con las muestras añadidas libremente. Por lo tanto, la adición de CdS podría introducir centros de fijación efectivos que explican la mejora en las propiedades superconductoras en los materiales Bi-2223.

SHARMA, P., et al. (2017). Se estudiaron la síntesis, la caracterización y las aplicaciones fotocatalíticas y de detección de nano planchas de sulfuro de cadmio (CdS) ultra anchas. Las nano hojas sintetizadas se utilizaron como fotocatalizadores para la degradación foto catalítica de tintes tóxicos, como el anaranjado de metilo (MO). Las actividades foto catalíticas se evaluaron midiendo la tasa de foto degradación del MO en presencia de nano planchas de CdS bajo irradiación de luz UV. Finalmente se logró una degradación $>90\%$ del colorante MO en 75 minutos utilizando 0,15 g de fotocatalizador, es decir, nano hojas de CdS.

DEVI, R., et al. (2015) Los autores de la investigación sintetizaron nanopartículas de CdS por la vía de precipitación química variando las temperaturas en un rango de 20 a 80 C. La temperatura tiene un papel significativo en la síntesis de nanopartículas de CdS porque influye en el tamaño de las partículas, en la brecha de banda y en la morfología. Se presenta una estructura cristina cúbica en todos los casos, observándose un aumento de la cristalinidad cuando se incrementa la temperatura. El tamaño de las partículas se incrementa con el aumento de la temperatura debido al crecimiento de Ostwald. Además, se han formado nanopartículas esféricas, respecto a lo que

se explica que disminuye la relación superficie/volumen. El bandgap disminuye a medida que aumenta la temperatura, de acuerdo con el tamaño de las partículas, ya que el aumento de tamaño de las partículas da lugar a una disminución de la banda de energía.

HULLAVARAD, N., et al. (2008). En el presente trabajo de investigación, el autor describe la historia del CdS, los avances más recientes en la química y síntesis de nanoestructuras de CdS y su aplicación como dispositivos a nanoescala en diversas áreas tecnológicas, desde la electrónica hasta la administración dirigida de fármacos. En esta revisión de la nanotecnología de CdS hace una breve descripción de una docena de métodos de producción de nanoestructuras de CdS y una discusión integral de cuántas formas de nanoestructuras de CdS se han utilizado y adaptado para desarrollar una gran cantidad de aplicaciones prácticas innovadoras, en particular, áreas como (1) clasificación, purificación y conservación, (2) caracterización y metrología, (3) capacidad de fabricación (control de procesos, vida útil y confiabilidad) y (4) medio ambiente y seguridad.

1.1.2 Sulfuro de Cadmio como nanoadsorbente de remoción.

Considerando las evaluaciones antes descritas, y acorde con el objetivo de la presente investigación, se consultaron experiencias previas que consideraran el empleo del nanoabsorbente de CdS para la remoción de iones de metales pesados como el Cu y el Pb, con la finalidad de tener un marco referencial de la síntesis y aplicaciones del CdS con miras al empleo en la muestra de efluente industrial considerada para la propuesta científica de la presente investigación.

VELUSAMY, S., et al. (2022) realizaron una investigación orientada a determinar la eficiencia de remoción del Cr (VI) en medio acuoso a partir de la adsorción empleando CdS comercial a diferentes concentraciones, evaluando la influencia de los parámetros del sistema en el éxito de la remoción. Para ello, se buscó modificar el estado de oxidación a Cr (III) con la finalidad de eliminar su toxicidad, observándose capacidades entre el ión original y este del 70% y 50%, y 12 mg/g y 18 mg/g, respectivamente, lográndose la adsorción máxima de Cr

(VI) con una dosis de adsorbente de 10 mg/L. El estudio concluye en sugerir que el CdS es un material adsorbente prometedor para eliminar iones metálicos Cr (VI) tóxicos de una solución acuosa.

GOLKHAH, S., et al. (2017) realizaron la síntesis de nanopartículas de sulfuro de cadmio para su comprobación como adsorbentes en la eliminación simultánea de iones Pb (II) y Cu (II) en soluciones acuosas. Como parte de los ensayos de adsorción por lotes, se lograron NP CdS con un tamaño promedio inferior a 100 nm, determinándose que los datos de adsorción isotérmica se ajustaron al modelo de Freundlich, obteniéndose como capacidades máximas de adsorción 200 mg/g para el Pb(II) y 166.7 mg/g para el Cu(II), a una concentración inicial de adsorbato de 100 mg/L a pH 6, temperatura de 298 K y un tiempo de contacto de 15 minutos, concluyéndose que el modelo elegido correspondía a un proceso de adsorción endotérmico.

DALEI, K., (2014) La pesquisa actual, presenta un procedimiento innovador para la obtención de nanopartículas de sulfuro de cadmio (CdS), el cual utiliza el EPS bacteriano como medio para la eliminación de cadmio del medio acuoso. Las sustancias poliméricas extracelulares (EPS) pueden fungir como lugares de unión para distintos iones metálicos, y también servir como recubrimiento de las nanopartículas ya sintetizadas. El EPS pristino, EPS funcionalizado y el EPS funcionalizado con la introducción de nanopartículas eliminaban el 61%, el 80% y el 83% de cadmio de las disoluciones acuosas, respectivamente. Finalmente, se concluye que el EPS con nanopartículas de CdS no sólo posee una mayor capacidad de adsorción, sino que ha exhibido efectos adicionales, tales como la facilidad en la recuperación, la facilidad de síntesis, la ausencia de contaminantes secundarios, el coste reducido y el respeto por el medioambiente.

1.1.3 Nanoadsorbentes para la remoción de cobre y plomo en medio acuoso.

La demanda de tratamientos que permitan la remoción de metales pesado en medio acuoso ha conllevado a que en años recientes la mirada de los científicos se oriente a la experimentación con nanoadsorbentes, los cuales han demostrado tener una mejor eficiencia al momento de la remoción.

Durante los últimos años, ha habido un creciente interés en la investigación sobre la síntesis, caracterización y aplicaciones de las nanoestructuras de sulfuro de cadmio, CdS) en diversas formas, incluidas las nanopartículas, para eliminar contaminantes que incluyen metales pesados como Cu.

MUSTAPHA, L., et al. (2024), El presente trabajo de investigación estudió la eficiencia de adsorción de los nanomateriales de óxido de magnesio (MgO) presentes en cenizas de arroz (RHA) para la remoción de iones cromo (VI) y plomo (II) de aguas residuales que provienen de la minería. Los nanomateriales de MgO fueron sintetizados a partir de un precursor de magnesio y extracto de hoja de Moringa oleifera, para ser utilizados y luego impregnados en la RHA, lo que condujo al nanocomplejo MgO-RHA. El adsorbente MgO-RHA presentó un mayor rendimiento en cuanto a la remoción, es decir, hasta un 79,20 % y un 96,02 % para los iones Cr(VI) y Pb(II), respectivamente. Los resultados termodinámicos indicaban que el proceso de adsorción era endotérmico, espontáneo y controlado por adsorción química. En conclusión, el nanocomplejo MgO-RHA fue mejor que el RHA en su rendimiento como adsorbente para la eliminación de iones metálicos.

EMENIKE, E., et al. (2022), Se realizó un estudio sobre los nanoadsorbentes aplicados para la eliminación del cobre a partir de una muestra de agua en la última década (2011-2021). Los nanoadsorbentes más frecuentemente utilizados en la literatura fueron las nanopartículas magnéticas (NMP) (43,4%), mientras que los menos utilizados fueron los aerogeles (1,2%). Las mejores eficiencias fueron logradas con los nanoadsorbentes modificados/funcionalizados mediante otras clases de materiales, lo que elevó el área superficial. La mayor parte de nanoadsorbentes demostró altas eficiencias de remoción (>90 %), e incluso la mayor capacidad de adsorción fue alcanzada experimentalmente con el aerogel (1937,5 mg/g). Se observó un buen ajuste de la isoterma de adsorción a los modelos propuestos por Langmuir y Freundlich, y los datos relacionados con la cinética de la adsorción del modelo cinético de pseudo-segundo orden.

Las NMP mostraron una alta reutilización, y los nanoadsorbentes lo mantuvieron incluso después de 3 a 5 rondas de regeneración. La capacidad de adsorción

máxima se dio a una temperatura óptima de 25 °C y un pH de 2-8 para la mayoría de los nanoadsorbentes.

ULUCAN-ALTUNTAS, K., et al. (2020) realizaron la síntesis de hidroxiapatita (HAp) con la finalidad de determinar su capacidad como adsorbente de cobre en medio acuoso, obteniéndose nanobarras de 10 nm y 25 nm de longitud determinaron como concentración efectiva para la remoción 514 mg/L de HAp a un tiempo de exposición de 60.4 minutos. Para la concentración más baja de Cu en medio acuoso (10 mg/L), se requirió una concentración de nano-HAP de 700 mg/L durante 60.4 minutos, lográndose la eliminación completa. El estudio concluye en que, si bien se demuestra su eficiencia en la remoción del Cu, debería considerarse profundizar en su empleo, la baja presencia de otros contaminantes, así como también confirmar si la presencia de Fe y Mg pueden incrementar la eficiencia de adsorción y/o reducir el tiempo de reacción requerido.

KRISHNA, Y. S., et al. (2018) examinaron la adsorción de Pb (II), Cd (II) y Cu (II) empleando nanoóxido de níquel (NiO) dopado con cromo, sintetizado mediante la técnica de combustión utilizando glicina como combustible. Las partículas sintetizadas alcanzaron un área superficial de 76 m²/g y un tamaño promedio de 10 nm. Según la Isoterma de Freundlich, los materiales son apropiados para la eliminación de los metales antes mencionados en un rango de concentración de 0.1 – 1 mg/L, alcanzándose como mayor eficiencia de remoción el 99.6% para el Pb, 97.9% para el Cd, y 97.8% para el Cu, a pH básico de 9 y un tiempo óptimo de contacto de 45 minutos con una dosis óptima de NiO de 0.15 g.

JADIDIAN, R., et al. (2013) investigaron sobre la remoción de cobre en medios acuosos mediante el empleo de nanopartículas magnéticas modificadas con benzotriazol (MIONP) a nivel superficial, las cuales fueron obtenidas a partir de nanopartículas de Fe₃O₄. Durante los ensayos se evidenció que la variación de pH y la alta concentración de electrolitos (Na Cl) tuvieron influencia sobre la eficiencia de remoción. Finalmente, se determinó que las partículas no modificadas pueden adsorber hasta el 49.6% de 50 ng/ml de iones Cu(II),

mientras que las modificadas alcanzaron un porcentaje de 99.7%, para un tiempo de 5 minutos, evidenciándose que este adsorbente es útil para la eliminación de iones de metales pesados en medio acuoso.

BHARGAV, S. & PRABHA, I. (2013) sintetizaron nanopartículas de óxido de hierro (III) a través del método de coprecipitación, las cuales se injertaron con carboximetil- β -ciclodextrima (CM- β -CD). Todos los ensayos fueron bifásicos, esto es, la adsorción se presentó rápida al principio, para ir disminuyendo de velocidad después de unas horas. Es importante precisar que la capacidad de adsorción aumenta al incrementar el pH, y se mantiene sin cambios en el rango de pH de 4 a 6, siendo casi todos los iones Cu^{+2} adsorbidos en estas condiciones. A pH 8, la adsorción de As (V) es mayor que la del As (III) gracias a la mejora de la adición de Zn^{+2} .

1.1.4 Remoción de cobre y plomo en efluentes acuosos

Antecedentes Nacionales

Actualmente la normativa peruana tiene estándares de cumplimiento para evitar los altos niveles de concentración de cobre (Cu), y (Pb) en efluentes acuosos industriales, por lo cual, con fines de investigación se han revisado otras investigaciones relacionadas a la remoción de Cu en efluentes industriales.

LAZO RAMIREZ, D., et al. (2024) El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos del tiempo de contacto, el pH y la dosificación de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) como biosorbente en la reducción de Pb (II) y Cd (II) en las aguas del río El Vado contaminado con efluente minero. En este caso, los tiempos de contacto óptimos para Pb (II) y Cd (II) fueron 90 y 120 min. El pH óptimo en ambos casos es 6,0. La dosis de adsorbente es de 2,5 gramos y 5,0 gramos por 200 ml de agua residual, respectivamente. Como resultado la remoción de Pb (II) fue de 99.67% y la remoción de Cd (II) fue de 99.88%. La isoterma más apropiada para la adsorción de estos metales es la isoterma de Langmuir, y el modelo cinético es un modelo de pseudosegundo orden.

ESPAÑA CHAMORRO, J. K. (2022) determina en su investigación el efecto de la remoción de metales pesados en efluentes mineros, aplicando un tratamiento de neutralización con cal a un pH de 8.5, logrando reducir las concentraciones de cobre (Cu) (0.998), zinc (5.128), hierro (0.71), y plomo (0.08) a un nivel que asegura el cumplimiento de la normativa nacional actual vigente de Perú.

CAMARGO, N. O. (2019) desarrolló la experimentación de su tesis para la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental, utilizando el método de redox en base al empleo de 0.8 ml/L de H_2O_2 durante la fase de oxidación, 0.15 ml/L de NaSH durante la fase de alcalinización, 16 ml/L de Cal durante la fase de reducción y, finalmente, 2.5 ml/L de coagulante y 3ml/L de floculante, considerando un pH de 9, obteniendo una remoción de cobre de 0.00009mg/L cuya eficiencia de remoción resulta de 99%.

Antecedentes Internacionales

La remoción de cobre y plomo es, sin lugar a duda, uno de los principales problemas al momento de realizar el tratamiento de los efluentes industriales, por lo que es de interés para la presente investigación el identificar un método que permita lograr la máxima eficiencia, lográndose de esta manera minimizar sus impactos en la vida acuática, conservando la calidad de vida de los peces, invertebrados, y plantas, así como también cualquier potencial riesgo a la salud de las personas y/o interferencias en las operaciones industriales.

Por tal motivo, se han identificado algunas investigaciones relacionadas con el empleo de métodos para la remoción de este metal pesado.

REN J., et al. (2025) El tratamiento utilizado fue la separación por precipitación magnética para eliminar la concentración de Cu (II) en las aguas residuales por medio de las nanopartículas de Fe_3O_4 y Na_2S . Durante este método de separación, el Cu (II) es reducido a CuS por Na_2S , el cual es inmediatamente reacciona con las nanopartículas de Fe_3O_4 para la formación de las nanoagrupaciones de Fe_3O_4 -CuS. Los resultados evidencian que la eficiencia de remoción de Cu (II) en las aguas residuales alcanzó el 99,75 % después de 30 s, siendo para el caso de Co (II), Ni (II) y Zn (II) el 7,64 %, 6,14 % y 8,41 %, respectivamente. Las nanopartículas de Fe_3O_4 se regeneraron fácilmente en las

nanoagrupaciones de $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CuS}$ usando ultrasonidos manteniendo así una eficiencia de remoción del 98 % de Cu (II) tras el sexto ciclo.

CEDEÑO, B., et al. (2024) El propósito de este estudio fue evaluar la eficiencia de la biosorción de la cáscara de cacao en la remoción de Pb y Al de las aguas residuales del lubricante automotriz “La Sin Par”. En este estudio se utilizó 400 gramos de cáscara de semilla de cacao, la cual fue deshidratada, molida y tamizada; por lo que se obtuvo una cáscara de cacao en polvo con un diámetro de 850 micras y 1 mm. Los resultados obtenidos mostraron la remoción de Pb y Al en todos los tratamientos. Sin embargo, el tratamiento T2 (15 g de cacao en polvo de 850 μm) tuvo mejor rendimiento de biosorción para ambos metales: este tratamiento eliminó el 94,12% del Pb y el 46,49% del Al.

AL-BALDAWI, I. A., et al. (2022) utilizaron el método de fitorremediación, basada en la evaluación de la capacidad de dos especies de plantas flotantes, *Azolla filiculoides* y *Lemna minor*, para eliminar el Cu del efluente industrial. Las plantas fueron expuestas a diferentes concentraciones de Cu (II) (0.25-1.00 mg/L), durante diferentes intervalos de tiempo (0, 1, 2, 5 y 7 días). Las dos especies obtuvieron una alta eficiencia de remoción: *A. filiculoides* obtuvo un 100% mientras que *L. minor* un 75%, en el quinto día de exposición.

YU, C., et al. (2018) sintetizaron Zn (II)-MOF con enlaces H y átomos de oxígeno de carboxilato no coordinados. Al dispersarse la solución acuosa, el metal-organic frameworks (MOFs) sintetizado en partículas pequeñas, demostró una alta estabilidad en un amplio intervalo de pH (3.0-10.0), además de una alta selectividad para Cu^{2+} que puede deberse a la fuerte interacción entre los átomos de oxígeno de carboxilato no coordinados y este ión. Sin necesidad de un pretratamiento, el material MOF demostró una buena capacidad de adsorción de Cu^{2+} (94.74%) El estudio concluye indicando que el MOF es una plataforma atractiva en la construcción de adsorbentes para contaminantes medioambientales.

ARBABI, M., & GOLSHANI, N. (2016) identificaron como parte de su investigación que los precipitantes quelantes, como el dimetil tiocarbamato y el

dietil tiocarbamato, tienen resultados prometedores en la eliminación de Cu (II) de las aguas residuales; ambos productos químicos reaccionaron con los iones de Cu para formar precipitados insolubles de hidróxido, carbonatos y sulfuro (OH^- , CO_3^{2-} y S_2^{2-}) que se separan del agua por sedimentación o filtración. La precipitación de cal puede emplearse para tratar de manera eficaz los efluentes inorgánicos con una concentración de metal superior a 1000 mg/L. Para el caso del xantato de etilo de potasio trata aguas residuales que contienen 50-1000 mg/L de Cu hasta límites permisibles y los productos finales, es decir, los complejos Cu-xantato pueden manipularse y tratarse fácilmente como materiales no peligrosos.

1.2 Antecedentes de Normativa Ambiental

Si bien el objetivo primordial de la presente investigación es determinar la eficiencia de remoción de Cu y Pb en un medio acuoso del nanoadsorbente CdS, previamente al establecimiento de un valor de referencia óptimo para el mencionado proceso se tendrá en cuenta la norma peruana aún vigente que regula los efluentes industriales mineros D.S. N° 010-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles (LMPs) para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas (**Tabla 1**).

Tabla 1:

LMPs establecidos por el D.S. N° 010-2010-MINAM

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio Anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0.8
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.08
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.04
Cromo Hexavalente (*)	mg/L	0.1	0.08
Cobre Total	mg/L	0.5	0.4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1.6
Plomo Total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

Nota: (*) En muestra no filtrada.

Fuente: D.S. N° 010-2010-MINAM.

Considerando que, en el Perú, la Autoridad Nacional del Agua (ANA), es el órgano encargado de establecer la Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales, aprobada mediante R.J. N° 056-2018-ANA; dicha clasificación sirve de base para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA Agua), aprobados mediante D.S. N° 004-2017-MINAM.

Dicho esto, se precisa que los LMPs y ECA Agua no regulan la misma cantidad de parámetros, Sin embargo, si presenta valor para el metal de Cobre, el que va de 0.2 – 0.5 mg/L (**Tabla 2**).

Tabla 2:

Comparación entre la normatividad ambiental nacional e internacional – Calidad de efluentes y cuerpo receptor

Normas	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)
D.S. N° 010-2010-MINAM (LMP Perú)	2	0.5	1.5	0.2
D.S. N° 004-2017- MINAM (ECA Perú)	5	0.2	2	0.05
Riego de Vegetales				
Bebida de Animales	N.A.	0.5	24	0.05

Fuente: Elaboración propia.

1.3 Justificación e importancia de la investigación:

- La presente tesis se justifica debido a la búsqueda de alternativas viables para el tratamiento de efluentes mineros y que a la vez puedan cumplir con la normativa ambiental vigente.
- Para el presente trabajo de investigación se buscó comprobar que la muestra de sulfuro de cadmio (CdS) remueva el Cu y Pb presentes en efluentes acuosos.

1.4 Objetivos de la investigación:

1.4.1 Objetivo General:

- Disminuir el contenido de Cu y Pb presente en efluente acuoso industrial empleando nanopartículas de Sulfuro de Cadmio (CdS) sintetizada por precipitación química.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Sintetizar Sulfuro de Cadmio (CdS) empleando el método de precipitación química
- Realizar la caracterización microestructural de la muestra sintetizada de Sulfuro de Cadmio (CdS).
- Realizar el análisis químico por adsorción atómica del efluente acuoso industrial para identificar en contenido de Cu y Pb.
- Realizar las pruebas de remoción de Cu y Pb en efluentes acuosos empleando el Sulfuro de Cadmio (CdS) sintetizado.

1.5 Hipótesis:

1.5.1 Hipótesis General

“El nanoadsorbente de Sulfuro de Cadmio (CdS) sintetizado remueve el cobre y plomo presente en efluentes acuosos industriales.”

1.5.2 Hipótesis Específicas:

- El Sulfuro de Cadmio (CdS) se sintetiza empleando el método de precipitación química.
- La caracterización micro estructural de la muestra sintetizada determina que el Sulfuro de Cadmio (CdS) es un nanomaterial.
- El análisis químico por adsorción atómica del efluente acuoso industrial determina el contenido de Cu y Pb.
- El empleo del CdS sintetizado, influye en la disminución del contenido de Cu y Pb en efluentes acuosos.

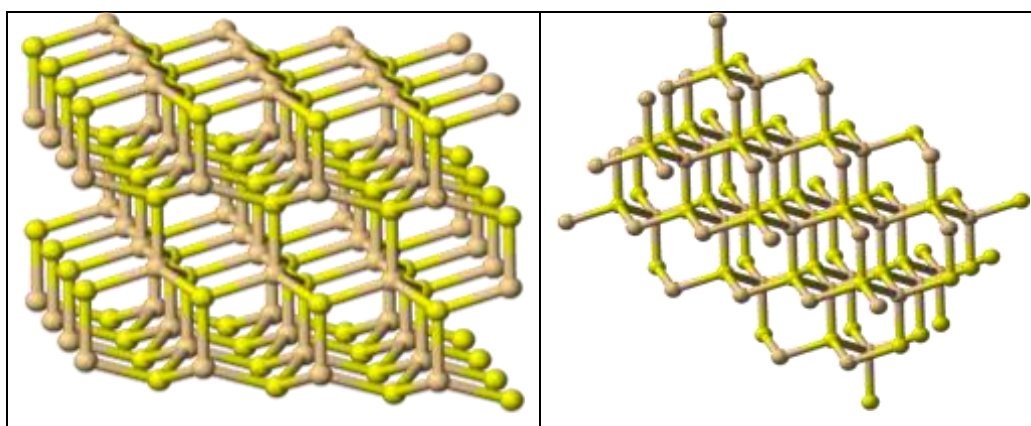
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL

2.1 Sulfuro de cadmio

Es un compuesto binario de cadmio y azufre, estructura del tipo hexagonal wurtzita (ver **Figura 1**) (Paras F. 2019), punto de fusión hasta 1600 °C, insoluble en agua, pero soluble en ácidos minerales diluidos. En la **Tabla 3** se detallan las propiedades del sulfuro de cadmio (Hullavarad, N. *et al.* (2019)).

Figura 1:

Estructuras cristalinas llamadas Wurtzita Hexagonal



Fuente: Paras F. 2019

Tabla 3.

Propiedades del Sulfuro de Cadmio

Otros nombres	Greenockita, Sulfuro de cadmio (II).
Formula molecular	CdS
Color	Amarillo a naranja
Aspecto	Sólido cristalino
Grupo y Tipo	Semiconductor tipo n perteneciente al grupo II- VI
Peso molecular	144.47 <i>g/mol</i>
Densidad y fase	4,826 <i>kg/m³</i> , sólido.
Punto de fusión	1750 C a 100 bar.
Temperatura de ebullición	980 C por sublimación

Otros nombres	Greenockita, Sulfuro de cadmio (II).
Semiconductor de Banda Directo	$E_g = 2.42 \text{ eV}$
Estructura cristalina	Estructura hexagonal y cúbica con una gran contribución de la fase hexagonal.
Masa del electrón m_e	0.19
Masa del hueco m_h	0.8
Radio de Bohr a_B	2.06 nm
$\Delta_f H^\circ \text{solid}$	-144 kJ/mol
$S^\circ \text{solid}$	71 J/(K mol)
Características químicas	- Insoluble en Agua
Apariencia	Ver Figura 1

Fuente: Hullavarad, N. et al. (2019).

A pesar de las numerosas aplicaciones del CdS, su benignidad a nanoescala alteran sus propiedades, físicas, químicas, eléctricas, ópticas y del transporte de estos semiconductores excepcionales. La variación de tamaño en las nanoestructuras semiconductoras II-VI afecta el CdS a 2,5 nm en cuanto a un bajo punto de fusión de 400 °C, variación también observada en la carga de la brecha de los nanocristalitos de CdS con su energía de brecha de 3,85 eV, a alta presión, variación de fase de tipo hexagonal wurtzita a fase cúbica de sal gema. (Majid, A., *et al.* 2018).

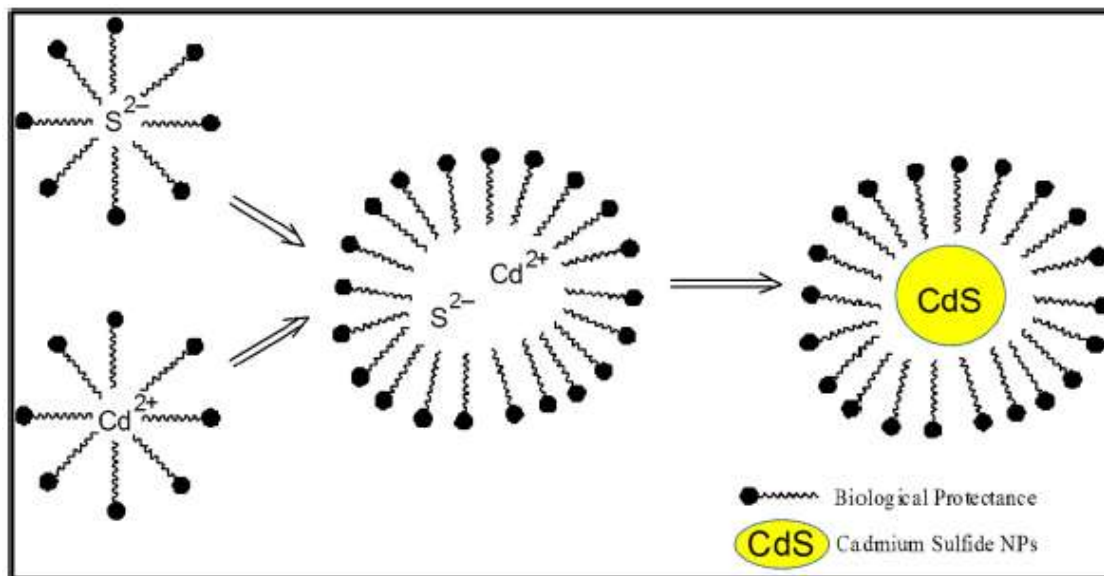
2.2 Síntesis, caracterización y aplicaciones del sulfuro de Cadmio, CdS.

2.2.1 Síntesis del sulfuro de cadmio, CdS.

La síntesis de un nanoadsorbente, es decir, la elaboración de un nanoadsorbente tiene que ver con el procedimiento conformado por el conjunto de operaciones y de los procedimientos que hay que llevar a cabo atendiendo a un protocolo que se desarrollan en el laboratorio para la obtención de nanopartículas con elevado grado de cristalinidad y pureza, siendo uno de estos procedimientos redactados y elaborados en función de la experiencia y de resultados de distintos trabajos de investigación (Borja, J., *et al.* 2020). En la **Figura 2** se puede observar la presentación esquemática de la formación de nanopartículas de sulfuro de cadmio.

Figura 2:

Presentación esquemática de la formación de NPs de CdS



Fuente: Dabhane, *et al.* 2021

Se describen a continuación los métodos más habituales llevados a cabo por los centros de investigación.

2.2.1.1 Metodologías para sintetizar CdS

Métodos biogénicos

Los métodos biogénicos han obtenido mucha atención debido a que permiten eliminar la toxicidad de las nanopartículas y presentan un proceso de síntesis ecológico, fácil, rápido y rentable. No requiere el uso de altas temperaturas, energía, presión o productos químicos tóxicos empleados comúnmente en los métodos químicos y físicos.

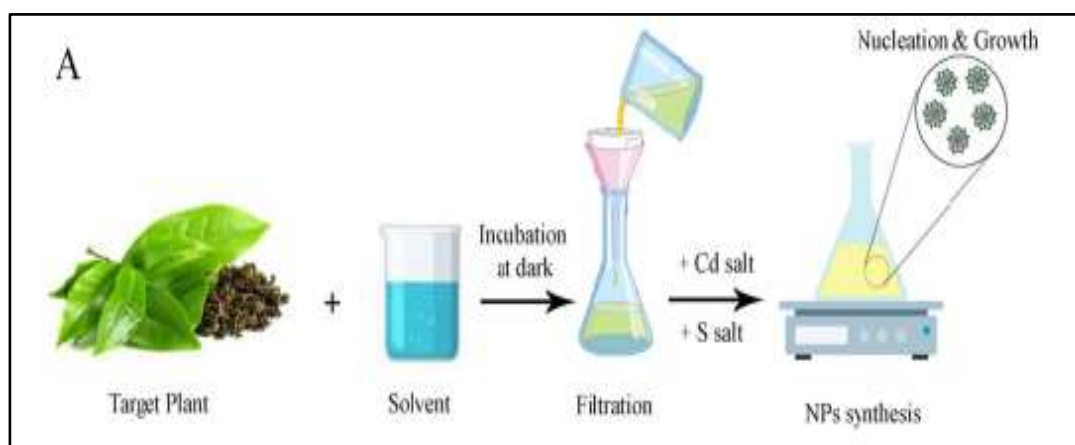
Para la síntesis biológica de las NP, se emplean las más diversas fuentes, tales como plantas y sus metabolitos (*Panicumsarmentosum*, *Dicliptera Roxburghiana*, etc.) y microorganismos como las algas (*Phormidium tenue*), los hongos (*Fusarium oxysporum* f. sp.), las levaduras (*Trichosporon jirovecii*) y las bacterias (*Escherichia coli*, la *Bacillus viridis arenosa*). En general, los distintos compuestos disponibles en biomateriales (proteínas, alcaloides, flavonoides,

polifenoles, etc.) actúan como precursores de sales metálicas reductores y tapadores.

Para sintetizar nanopartículas de CdS a partir de extractos de plantas, las especies vegetales se escogen en función de sus propiedades fotoquímicas y médicas. Posteriormente, al añadir el extracto de planta preparado a la sal de Cd, se realiza la reducción biológica por fitoquímicos que ya están presentes en el extracto, lo que conlleva la síntesis de nanopartículas de CdS, tal como se observa en la **Figura 3**. (Ghasempour, *et al.* 2023). Las nanopartículas obtenidas se filtran y limpian, y finalmente se secan para usos diversos.

Figura 3.

Figura esquemática de diferentes etapas en la síntesis verde de nanopartículas de CdS por extracto de planta.

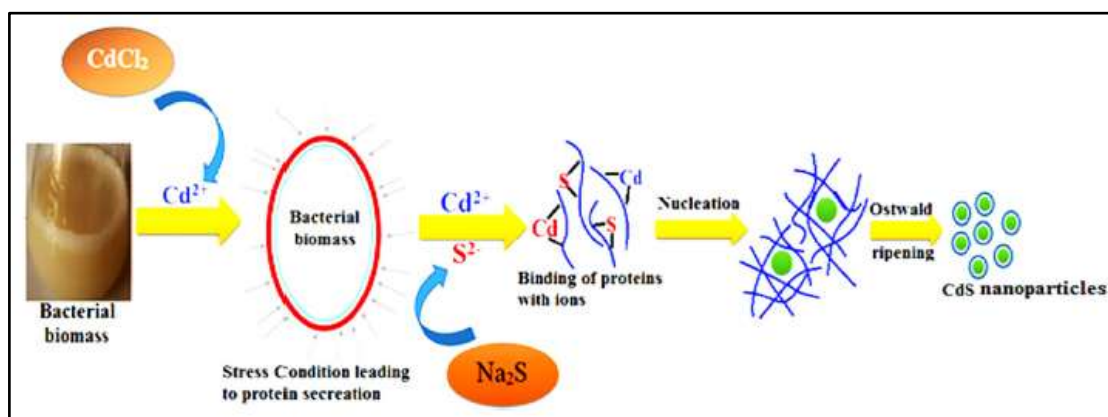


Fuente: Ghasempour, *et al.* 2023

Para sintetizar nanopartículas de CdS a partir de bacterias y levaduras, el potencial negativo de la membrana bacteriana, y el CdCl_2 (Cd^{2+}) comienza a acumularse en la superficie de la membrana bacteriana, lo que provoca un estrés sobre la superficie bacteriana. Para superar este mecanismo de defensa, las bacterias liberan proteínas que, a su vez, interactúan con el Cd^{2+} y el Na_2S para formar las NPs de CdS (Dabhane, *et al.* 2021), tal como se observa en la **Figura 4**.

Figura 4.

Mecanismo potencial de biosíntesis de las NPs de CdS.



Fuente: Dabhane H, et al. 2021.

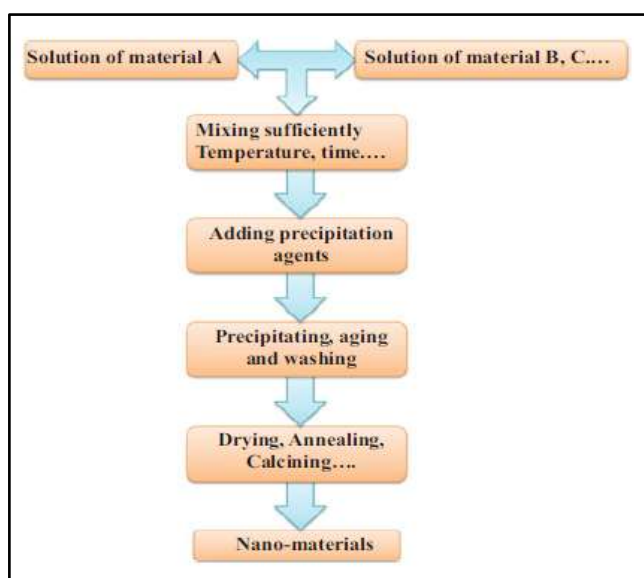
Métodos químicos

Precipitación química: Considerando la facilidad de síntesis, el poco tiempo de reacción, el sencillo procesamiento, y su óptima pureza, este método es el más utilizado para generar nanopartículas de CdS. (Ghasempour, et al. 2023). En este método, las sales inorgánicas son disueltas en un medio apropiado el cual se convierte en una disolución homogénea de grupos de iones. Las sales (sulfatos, nitratos, etc.) sirven como materiales de inicio y el producto resultante es un compuesto formado por dos o más tipos insolubles, los disolventes vienen a ser el agua desionizada, etanol, metanol, soluciones ácidas, etc. En este método se procede hacer una disolución de tipo básico de los precursores debido a que se emplea la mezcla gota a gota en disolventes para controlar mejor el valor de pH. Posteriormente, a temperatura ambiente estas disoluciones preparadas se pasan y se agitan durante un cierto número de horas hasta que las soluciones reaccionen totalmente. En la precipitación química los materiales que reaccionan precipitan en disolventes básicos cuando han terminado de reaccionar debido a su baja solubilidad. En la coprecipitación, los materiales que reaccionan precipitan en disolventes básicos como precursores y su solubilidad depende del valor del pH. Las sales metálicas necesitan con frecuencia un entorno básico/ácido débil, por esta razón es necesario tener un valor de pH muy bien organizado para que la reacción se lleve a cabo. La precipitación química implica dos etapas básicas (i) *síntesis en estado líquido* (ii) *tratamiento térmico*.

La composición química es una característica primordial que influye en las estructuras y propiedades de los nanomateriales. Por lo tanto, es importante organizar con precisión la relación estequiométrica de los precursores. La concentración de los precursores en la solución también es una parte esencial en la síntesis, por lo que es necesario mezclar los precursores con proporciones molares preestablecidas. Las propiedades de las NPs producto dependen de las modificaciones de la temperatura, la concentración y el pH. En la **Figura 5** se esbozan las diferentes etapas que intervienen en la síntesis de nanomateriales mediante coprecipitación.

Figura 5.

Esquema de la síntesis utilizando el método de precipitación química.



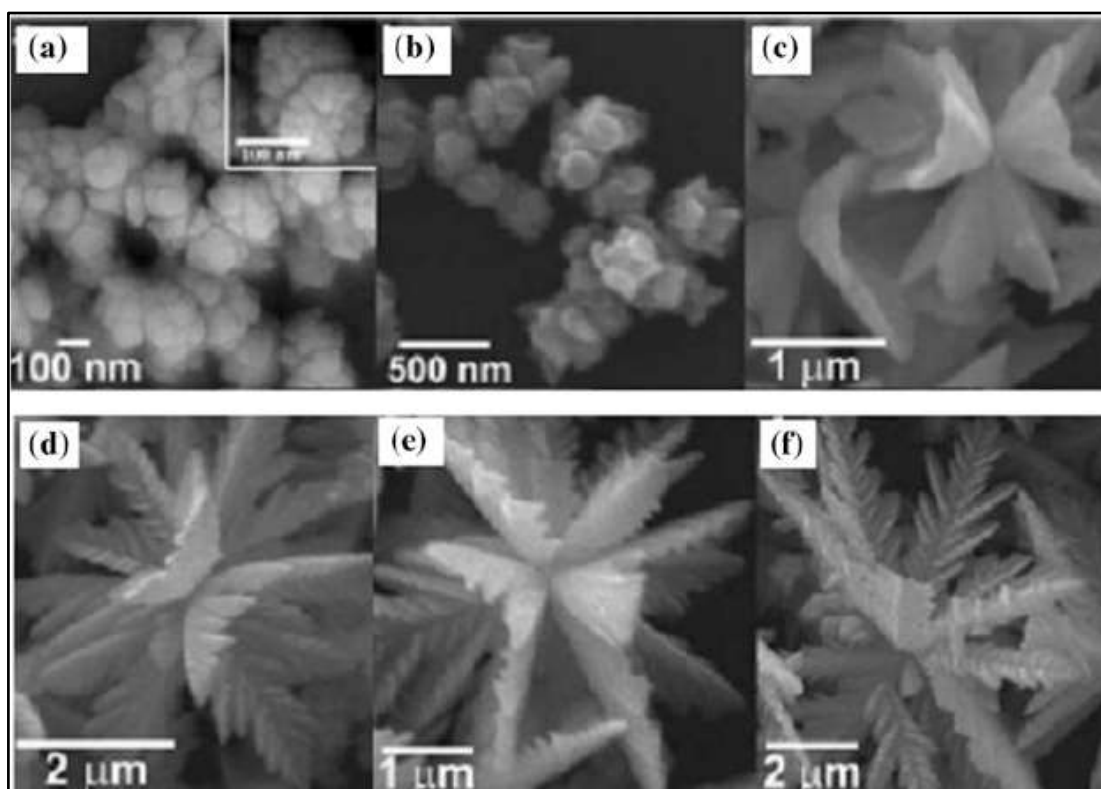
Fuente: Majid, A. 2018

Síntesis Solvotérmica: Este método es uno de los procesos más eficaces para crear nanopartículas de CdS. Los precursores reaccionan en presencia de un disolvente en un sistema cerrado (autoclave) a una temperatura muy elevada, hasta el punto de ebullición del disolvente. Los parámetros de procesamiento del sistema de reacción son los tipos de disolventes y reactivos, la temperatura y el tiempo, la cual permite ser ajustado para regular el tamaño y la forma del producto. (Ghasempour, et al. 2023). Adicionalmente se han realizado experimentos considerando los efectos del tiempo solvotérmico que son variables sobre la morfología de los nanomateriales. A diferentes valores de tiempo de síntesis se exhibieron diferentes morfologías y tamaño de los

nanomateriales CdS como se muestra en la **Figura 6**. El proceso de evolución de estas nanoestructuras en forma de flor se mostró completo a las 6 h, después de lo cual no se observó ningún efecto sobre la morfología.

Figura 6:

Proceso de morfología-evolución de nanoestructuras de CdS en forma de flor a diferentes tiempos solvotérmicos a) 0.5 h, b) 1 h, c) 3 h, d) 6 h, e) 9 h y f) 18 h.



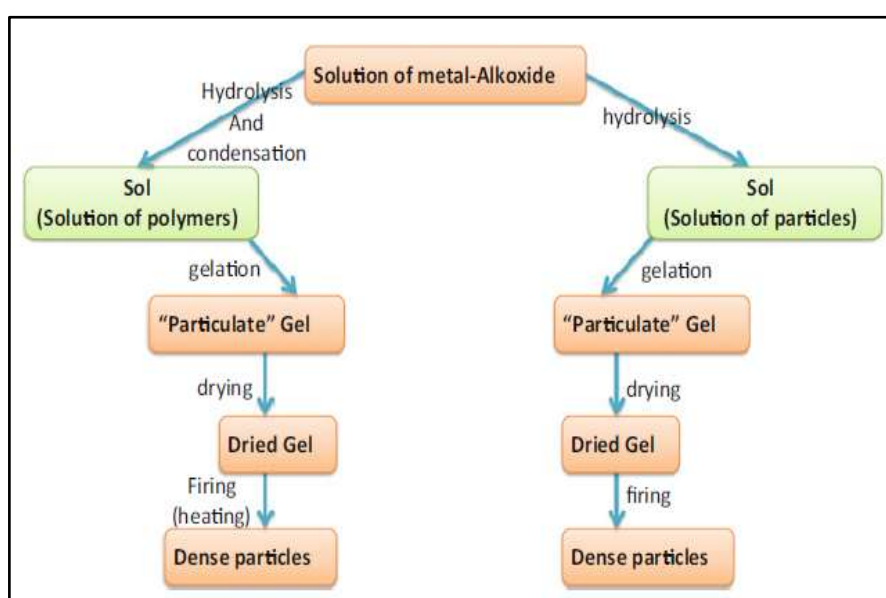
Fuente: Majid, A. 2018

Síntesis Sol – Gel: Este método tiene una ruta de síntesis química para la preparación de materiales mediante policondensación de especies moleculares a partir de una solución. El «sol» consiste en partículas coloidales dispersas en un disolvente, mientras que el «gel» está formado por una red resistente. La preparación de materiales cerámicos tiene lugar mediante la sol-gelación de ese sol y la eliminación del disolvente. En este método, un líquido (sol) se convierte químicamente en estado de gel seguido de una condensación en forma de nanoestructuras sólidas. (Majid, A. 2018). En la **Figura 7** se muestra un diagrama de flujo que explica la síntesis sol-gel. La técnica sol-gel consta de dos pasos principales: el primer paso comprende la hidrólisis y polimerización de alcóxidos para preparar los geles, mientras que el segundo paso es la

sinterización de coloides amorfos en polvo compacto. Tras el proceso de hidrólisis, se forma una suspensión de partículas no poliméricas muy finas en la solución que se convierte en una suspensión de partículas finas, unidas entre sí mediante fuerzas de van-der-waals. Luego forma una solución de moléculas de polímero, que están unidas mediante enlaces covalentes. Finalmente, cuando las partículas alcanzan un tamaño significativo, el proceso de crecimiento se detiene y las partículas empiezan a aglomerarse con otras NPs.

Figura 7.

Ruta de síntesis de Sol - Gel



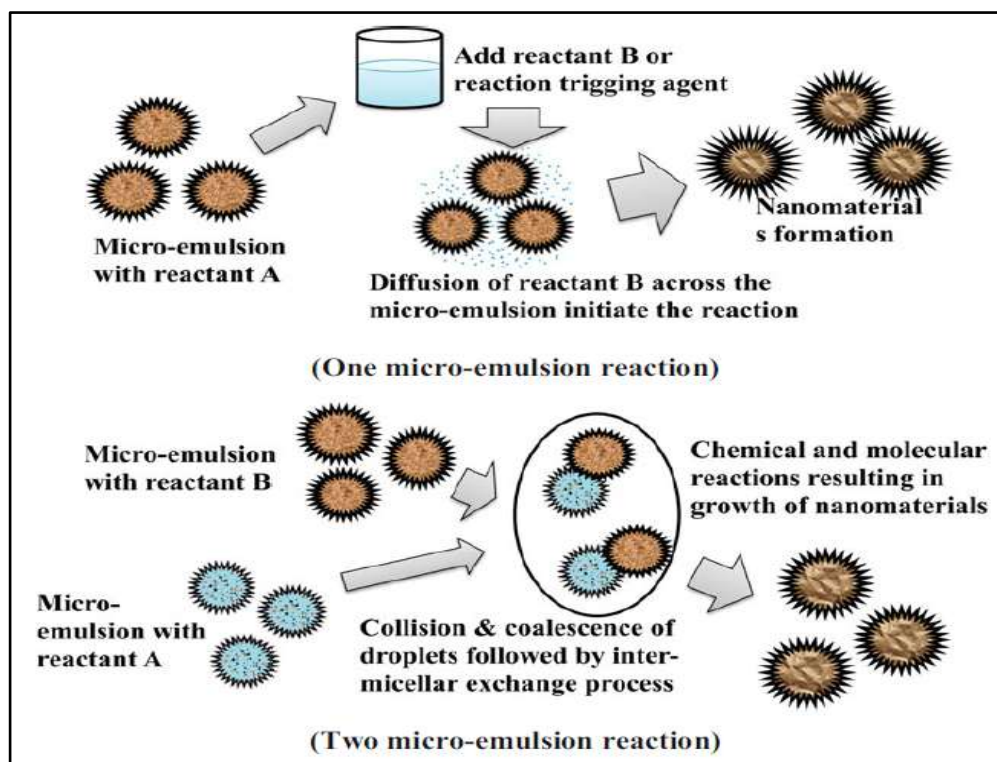
Fuente: Majid, A. 2018

Técnica de microemulsión: se lleva a cabo utilizando una solución uniforme que contiene agua, aceite, tensioactivo y un co-surfactante a base de aminos o alcohol. Esta técnica comprende un conjunto de procesos en el sistema coloidal establecido termodinámicamente e implica una mezcla isótropa de líquido hidrófilo (agua), líquido lipofílico (aceite) y un tensioactivo anfifílico (grupos hidrófilos e hidrófobos). Los tensioactivos desempeñan una función importante en las reacciones de microemulsión, ya que la tensión es disminuida entre la microemulsión y las fases en exceso y permiten preparar NPs más pequeñas con una distribución de tamaños estrecha. Facilitan la síntesis de NPs en espacio limitado actuando como reactivo para hacer estable el sistema y también puede fusionarse con un co-surfactante. Normalmente, se emplean dos tipos de

esquemas de microemulsión para el proceso de síntesis (**Figura 8**) (Majid, A. *et al.* 2018).

Figura 8.

Esquema de síntesis de (a) una microemulsión y (b) dos microemulsiones.



Fuente: Majid, A. 2018

El procedimiento de la microemulsión requiere que un reactante se localice en la pared de la microemulsión, el agente reductor, los oxidantes y/o el segundo componente reactante tengan que difundir en el interior de la pared de la microemulsión para acabar el proceso de crecimiento, en el caso de la aparición de las microemulsiones y los reactantes, las microemulsiones se combinan en proporciones adecuadas de tensioactivo, aceite y agua, el movimiento browniano da la posibilidad de mezclar los constituyentes micelares de dos micelas diferentes o micelas inversas e iniciar la reacción química. (Majid, A. *et al.* 2018).

Métodos físicos

Método hidrotermal: Este método es semejante al proceso solvotérmico, pero en lugar de un disolvente utiliza agua. En este caso, el precursor se disuelve en

agua en la autoclave para llevar a cabo la síntesis. Debido a que el agua es un gran disolvente, los compuestos no iónicos se pueden disolver en condiciones de alta presión y temperatura en el proceso hidrotérmico. Se distinguen dos tipos de este método de síntesis (i) el sistema hidrotérmico discontinuo realiza el proceso con la proporción de fases requerida y (ii) el sistema hidrotérmico continuo que muestra una mejor tasa de reacción con un tiempo bastante corto. El método hidrotermal se puede controlar la morfología y la estructura de las partículas utilizando precursores y condiciones hidrotérmicas distintas. (Majid, A. *et al.* 2018).

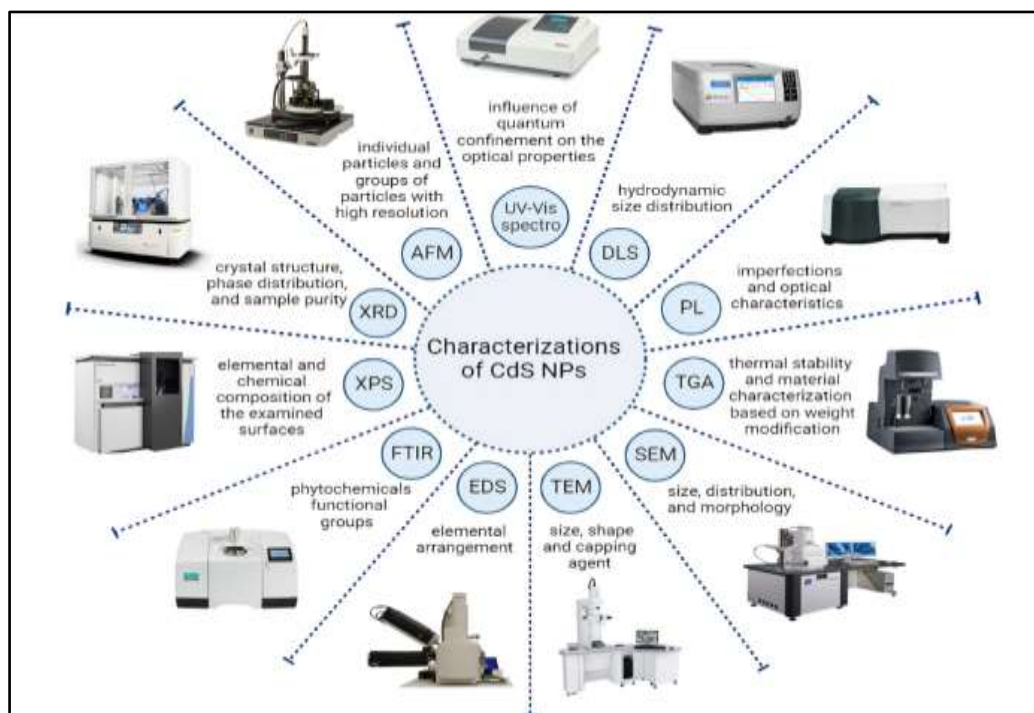
La síntesis hidrotérmica presenta varias ventajas. Esta técnica es muy pura, tiene una morfología controlada, tiene una distribución de tamaño restringida que incluye uno o varios cristales individuales, presenta una elevada velocidad de reacción del polvo, proporciona una buena dispersión en el líquido y genera productos casi libres de contaminación (Ghasempour, *et al.* 2023).

2.2.2 Caracterización del CdS.

El desarrollo de la nanotecnología por medio de múltiples enfoques en diversas áreas de la investigación ha originado la necesidad de utilizar técnicas analíticas para la caracterización fisicoquímica y el análisis de las NPs. Las propiedades básicas que dependen de la caracterización de las NPs de CdS referidas al tamaño, la forma y la carga superficial, están generalmente relacionadas con el procedimiento utilizado para su síntesis. Las NPs de CdS sintetizadas por diferentes métodos se presentan con diferentes tamaños, formas y propiedades fisicoquímicas y son caracterizadas a partir de técnicas como la espectroscopia UV-visible (espectroscopia UV-Vis), la espectroscopia infraroja transformada de Fourier (FTIR), fotoluminiscencia (PL), Dispersión Dinámica de la Luz (DLS), espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS/EDAX/EDX), espectroscopia de difracción de Rayos-X en polvo (XRD), Microscopia Electrónica de Barrido (SEM), Microscopia Electrónica de Transmisión (TEM), Microscopia de Fuerza Atómica (AMF), espectroscopia de fotoelectrones de Rayos-X (XPS) y análisis gravimétrico térmico (TGA), las técnicas se encuentran resumidas en la **Figura 9**.

Figura 9:

Métodos de caracterización de las nanopartículas de CdS



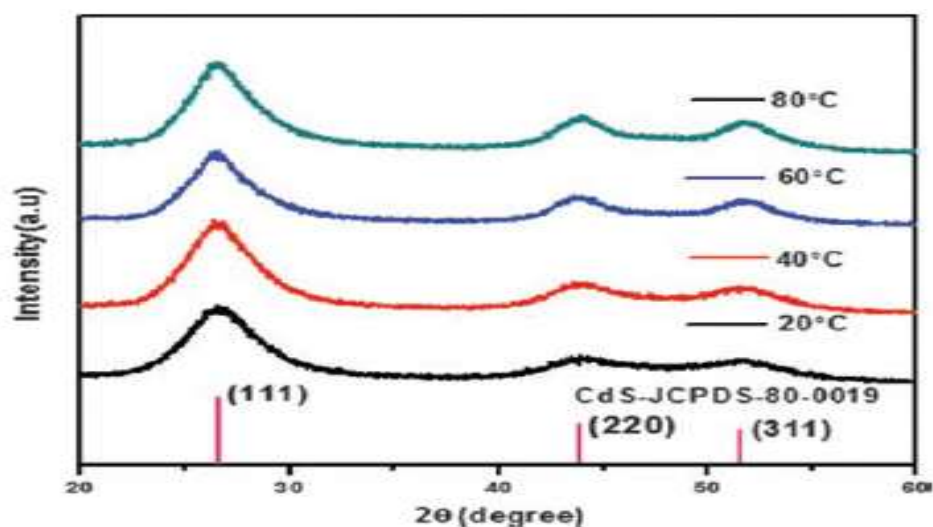
Fuente: Ghasempour, et al. 2023

Para ello tomamos como ejemplo la síntesis de las nanopartículas de sulfuro de cadmio (CdS), donde utilizamos como precursor al cloruro de cadmio (CdCl_2), al sulfuro de sodio (Na_2S) y agua como medio disolvente, en un rango de temperatura comprendido entre los 20 y 80°C. La caracterización de las nanopartículas fue llevada a cabo mediante Difracción de Rayos X (DRX) (**Figura 10**), espectroscopia Raman (**Figura 11**), microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FE-SEM) (**Figura 12**), espectroscopia de energía dispersiva (EDS) (**Figura 13**), microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HR-TEM) (**Figura 14**), y espectroscopia UV-Visible (**Figura 15**), etc. De los patrones DRX se observa que todas las nanopartículas de CdS sintetizadas mostraban una estructura cristalina cúbica, mientras que los espectros de Raman mostraban diferentes modos vibracionales fonónicos longitudinales ópticos (LO) de primer y segundo orden del CdS. Por FE-SEM, el tamaño de las nanopartículas de CdS se encontró en el intervalo de 15-80 nm para todos los casos analizados. El porcentaje atómico de cadmio y azufre fue de 1:1 desde el análisis EDS. Finalmente, la micrografía TEM (**Figura 16**), demostró también que las nanopartículas tenían formas esféricas y un tamaño

perteneciente al intervalo de 15-85 nm, mientras que las imágenes obtenidas de las nanopartículas de CdS a partir de HR-TEM muestran franjas de rojo perfectamente definidas que evidencian la estructura cúbica del sulfuro de cadmio (DEVI, R., et al. 2015).

Figura 10:

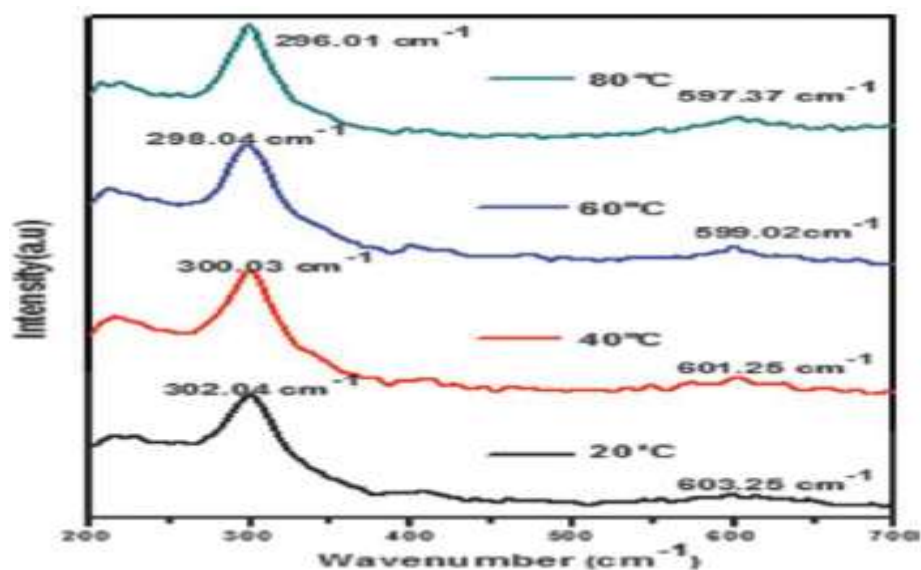
Patrón de DRX de las nanopartículas de CdS en función de la temperatura de reacción (20°C, 40°C, 60°C y 80°C).



Fuente: DEVI, R., et al (2015)

Figura 11.

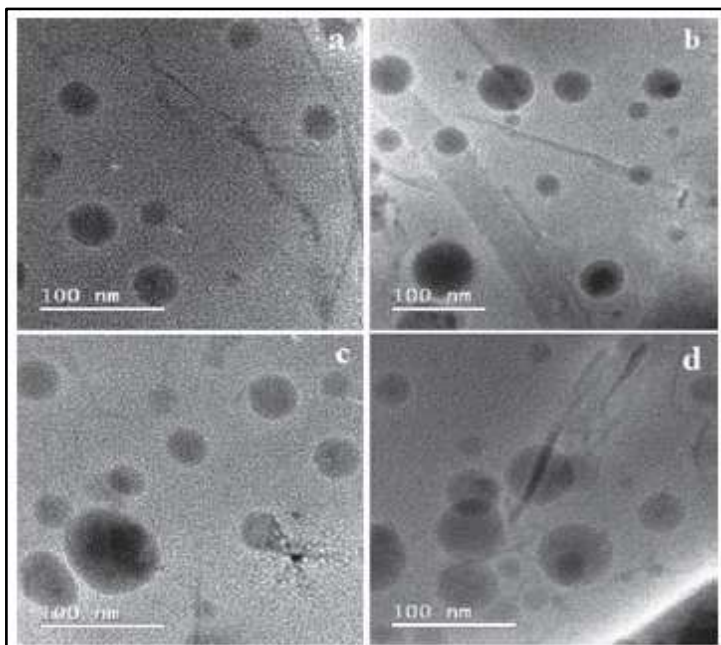
Espectroscopia Raman de las nanopartículas de CdS a diferentes temperaturas entre 20°C y 80°C.



Fuente: DEVI, R; et al (2015)

Figura 14.

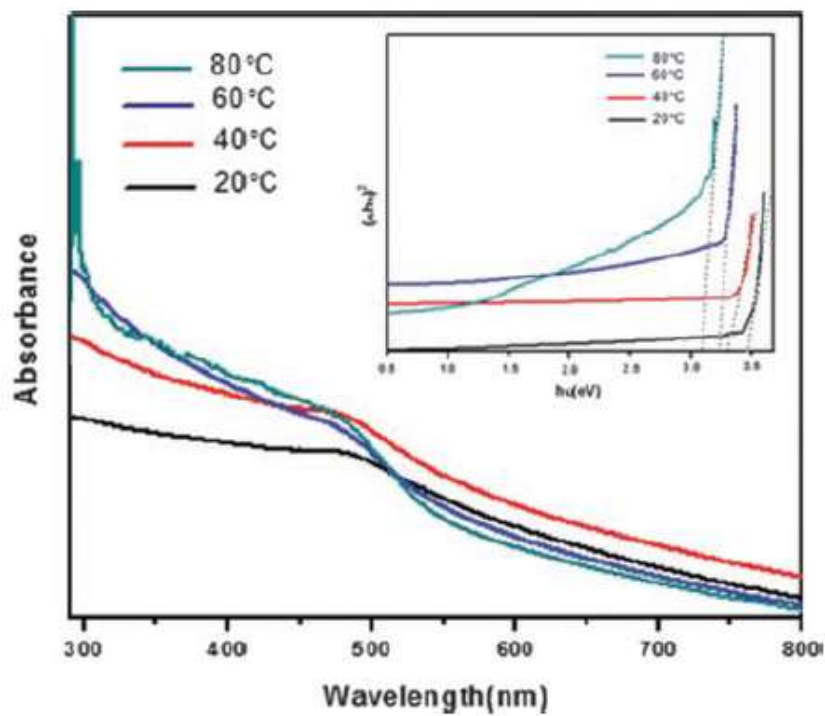
Imagen TEM de las nanopartículas de CdS a diferentes temperaturas entre 20°C y 80°C.



Fuente: DEVI, R., *et al* (2015)

Figura 15.

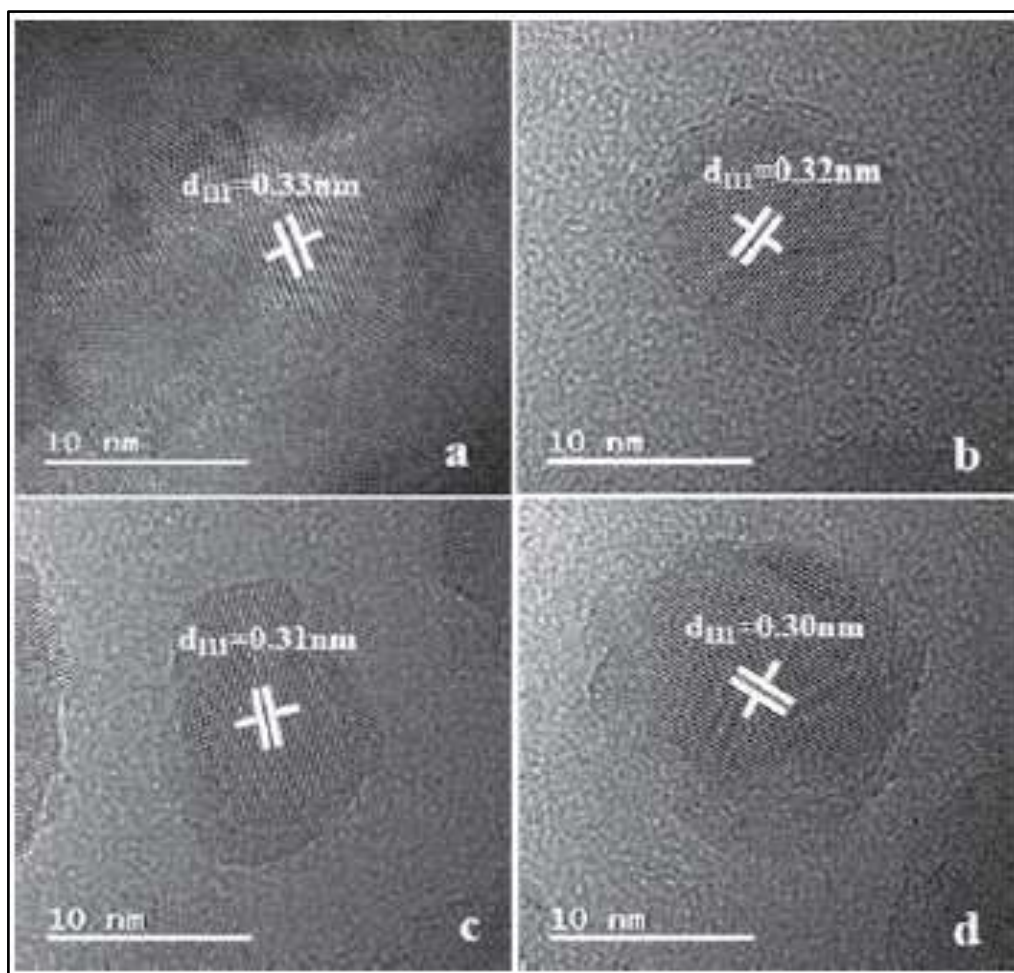
Los espectros de absorción UV-visible de las nanopartículas de CdS sintetizadas a diferentes temperaturas de reacción.



Fuente: DEVI, R., *et al* (2015)

Figura 16.

Imagen HR TEM de las nanopartículas de CdS a diferentes temperaturas entre 20°C y 80°C.



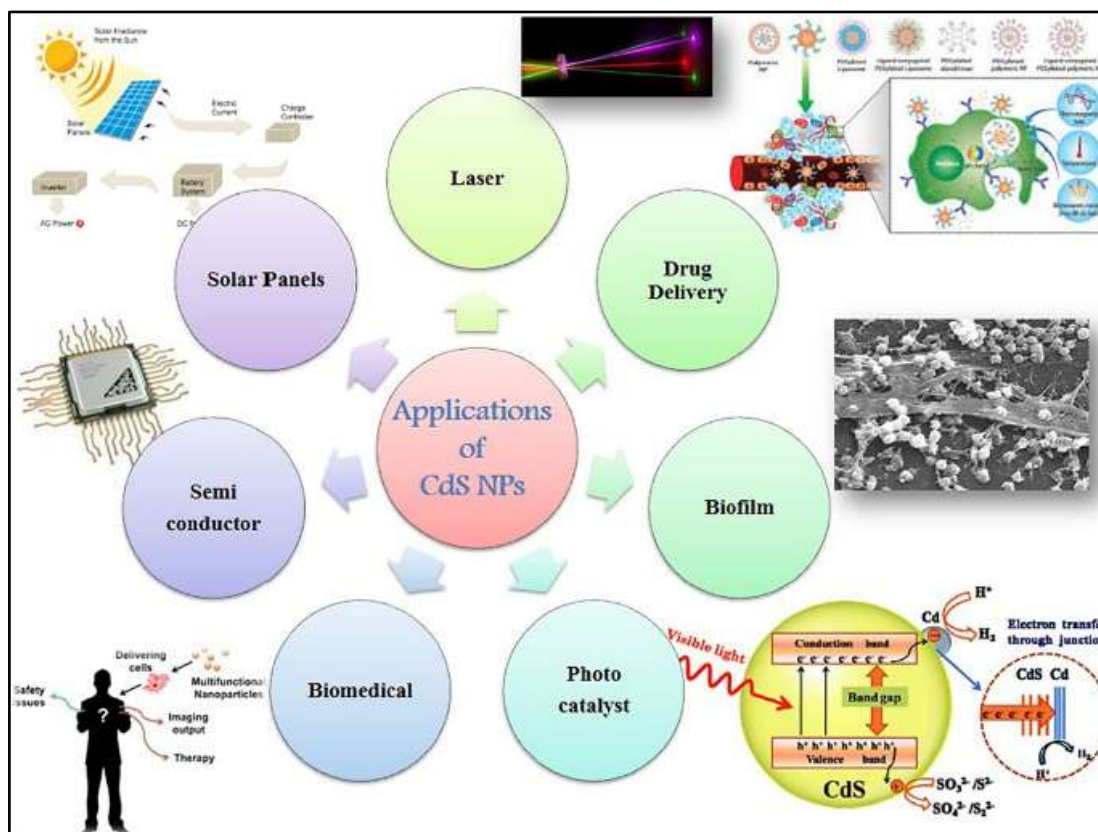
Fuente: DEVI, R., et al (2015)

2.2.3 Aplicaciones del sulfuro de cadmio, CdS.

El cadmio es un compuesto cuya conductividad y resistencia a la corrosión tienen características óptimas. El CdS también aparece en forma cristalina, coloidal fluorescente semiconductora como son los Quantum Dots CdS (CdS QDs), por lo que las nanopartículas son las que destacan entre los muchos materiales referidos, debido a sus espectaculares propiedades ópticas y eléctricas que pueden ser usadas en los biosensores, técnicas de bioimágenes, células fotovoltaicas, nanomedicina, patología celular y la administración de fármacos, como se observa en la **Figura 17**.

Figura 17.

Aplicaciones de las nanopartículas de sulfuro de cadmio, CdS.



Fuente: Dabhane, H., *et al.* 2021.

Las nanopartículas de CdS son a priori semiconductores del II-VI, que presentan una amplia banda prohibida y muy relevantes para el campo de la electrónica en general y en particular para las células solares las cuales ayudan a mejorar la eficiencia de la células solares además de ser excelentes fotosensibles en tanto que tiene la capacidad de detectar radiación que se encuentra en la zona visible, ayudando de esta forma a mejorar la eficiencia de las células solares en LED y actuando como fotoconductores. Otro tipo de CdS son los Quantum Dots que se usan principalmente para la fabricación de láseres, diodos emisores de luz, células fotovoltaicas y en medicina para bioimágenes in vivo e in vitro y para inhibir biopelículas. Gracias a la correcta actividad semiconductor, se comporta como un material fluorescente cuya aplicación está bien registrada en la obtención del ácido nucleico. Adicionalmente las CdS NPs, o Quantum Dots, presentan una aplicación en medicina, siendo utilizada como bioimagen y

también siendo utilizada en aplicaciones terapéuticas en células de cáncer de pulmón (Dabhane, H., *et al.* 2021).

2.3 Cobre

El cobre es una familia de metales, cobre, plata y oro, y todos ellos son conductores muy eficientes de electricidad. El cobre es de color rojizo y brillo metálico como los metales de transición. Los cables eléctricos y otros componentes eléctricos y electrónicos están hechos de él debido a su alta conductividad, ductilidad y maleabilidad. (Química.es).

Un gran número de aleaciones, como el cobre, exhiben propiedades mecánicas superiores a pesar de su reducida conductividad eléctrica. El bronce y el latón son los tipos de arte más importantes.

El cobre es un metal resistente porque se puede reciclar casi infinitamente sin reducir sus propiedades mecánicas (Química.es). En la Tabla 4 se detallan las características del cobre.

Tabla 4.

Características del Cobre (Cu)

General	
Nombre, símbolo, número	Cobre, Cu, 29
Grupo, periodo, bloque	11, 4, d
Densidad, dureza Mohs	8960 kg/m ³ , 3.0
Propiedades atómicas	
Masa atómica	63,536 u
Radio medio†	135 pm
Radio atómico calculado	145 pm
Radio covalente	138 pm
Configuración electrónica	[Ar]3d ¹⁰ 4s ¹
Estados de oxidación (óxido)	+2, +1 (levemente básico)
Estructura cristalina	Cúbica centrada en las caras
Propiedades físicas	
Estado de la materia	Sólido (diamagnético)
Punto de fusión	1357,77 K (1084.62 °C)
Punto de ebullición	3200 K (2927 °C)
Entalpía de vaporización	300 kJ/mol
Entalpía de fusión	13.1 kJ/mol
Presión de vapor	100 Pa a 1850 K
Velocidad del sonido	3570 m/s a 293.15 K

Información diversa					
Electronegatividad	1.9 (Pauling)				
Calor específico	385 J/(kg·K)				
Conductividad eléctrica	58,108 x 10 ⁶ S/m				
Conductividad térmica	400 W/(m·K)				
1er potencial de ionización	745.5 kJ/mol				
2° potencial de ionización	1957.9 kJ/mol				
3er potencial de ionización	3555 kJ/mol				
4° potencial de ionización	5536 kJ/mol				
Isótopos más estables					
Iso.	AN	Periodo de semi desintegración	MD	ED MeV	PD
52Cu	69.17%	12.7 h	Cu es estable con 34 neutrones		
53Cu	Sintético		ε	1.675	64Ni
			β-	0.579	64Zn
54Cu	30.83%	61.83 h	Cu es estable con 36 neutrones		
55Cu	Sintético		β-	0.577	67Zn

Fuente: QUÍMICA.ES. (12 de Octubre de 2023). QUÍMICA.ES - Enciclopedia. Obtenido de <https://www.quimica.es/enciclopedia/Cobre.html>.

2.3.1 Efectos del cobre sobre la salud

El cobre no es un veneno acumulativo por el organismo. La toma de dosis orales de hasta 100 mg provoca síntomas de gastroenteritis y náuseas. El envenenamiento por cobre en agua se puede prevenir ya que su sabor hace que el envenenamiento sea fácilmente detectable.

Existen escasas información sobre la toxicidad crónica de este elemento. Las únicas personas que corren un riesgo de sufrir efectos tóxicos de este metal son aquellas con enfermedad de Wilson, trastorno en el metabolismo que impide la síntesis del cobre. Se trata de un elemento esencial en nutrición humana, ya que participa en muchas reacciones enzimáticas, la ingesta recomendada diaria es de 2 mg, cantidad que podemos obtener consumiendo crustáceos, legumbres, nueces y cacao.

El cobre se conoce bien por sus propiedades antisépticas y antiinflamatorias. Recientemente se ha demostrado que el almacenamiento de agua en recipiente de cobre puede reducir el riesgo de la contaminación bacteriana, incluso

combatiendo la *E. coli* y *S. aureus*. Estas bacterias se encuentran con gran frecuencia en nuestro medio y son causa de enfermedades muy graves (carbotecnia.info).

2.3.2 Efectos ambientales del cobre

Considerando que el cobre es un elemento esencial, podemos equiparar su impacto medioambiental al de un producto químico sintético. La forma química del cobre que se encuentra en un determinado medio tiene un efecto claro sobre su biodisponibilidad, es decir, sobre la concentración adecuada que el término "organismos" es capaz de absorber. La forma en la que un organismo asimila el cobre depende no sólo de su forma química, sino también de su distribución en un medio determinado y de cómo se transfiere (por ejemplo, su adherencia a partículas); como el efecto del cobre en el agua, en los sedimentos y en el suelo está muy condicionado por las características químicas y físicas del medio local y por la biodisponibilidad de las diferentes formas químicas del cobre para los organismos que habitan en ese medio.

El impacto medioambiental del cobre repercute en diferentes aspectos de la naturaleza. Un elevado número de organismos han desarrollado mecanismos fisiológicos y/o metabólicos para regular, excretar y/o desintoxicar el exceso de cobre y de otros elementos esenciales. Las concentraciones de cobre en los tejidos de estos organismos no son, un buen indicador de los efectos tóxicos que puede generar el cobre en el organismo, ni el concepto de «bioacumulación».

(<https://internationalcopper.org/>)

2.4 Plomo

El plomo es un metal pesado de color azulado que se empaña y así llega a ser gris mate. Es flexible, inelástico, se funde con facilidad, se funde a 327.4 °C (621.3 °F) y hervido a 1725°C (3164°F). Sus valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Sin embargo, es lentamente soluble en ácido nítrico. El plomo es anfótero, forma sales de plomo de los ácidos, y también sales metálicas del ácido plúmbico. El

plomo forma miles de sales, óxidos y compuestos organometálicos. (Lenntech.es).

Los compuestos más importantes a nivel de industria son los óxidos de plomo y el tetraetilo de plomo. El plomo forma aleaciones con muchos metales y en general se utiliza en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones. Todas las aleaciones que se forman con estaño, cobre, arsénico, antimonio, bismuto, cadmio y sodio son las más importantes industrialmente. (Lenntech.es). En la **Tabla 5** se detallan las características del plomo.

Tabla 5.
Características del Plomo (Pb)

Nombre	Plomo
Número atómico	82
Valencia	2,4
Estado de oxidación	+2
Electronegatividad	1,9
Radio covalente (Å)	1,47
Radio iónico (Å)	1,20
Radio atómico (Å)	1,75
Configuración electrónica	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²
Primer potencial de ionización (eV)	7,46
Masa atómica (g/mol)	207,19
Densidad (g/ml)	11,4
Punto de ebullición (°C)	1725
Punto de fusión (°C)	327,4

Fuente: Lenntech.es (12 de noviembre de 2024) Water Treatment.

<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm>

2.4.1 Efectos del plomo sobre la salud

El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%). Alimentos como frutas, verduras, carnes, cereales, mariscos, refrescos y vino pueden contener grandes cantidades de plomo.

El plomo puede entrar al agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto ocurre con mayor frecuencia cuando el agua es ligeramente ácida. El plomo no tiene ninguna función importante en el cuerpo humano; causa daño principalmente cuando ingresa a los alimentos, el aire o el agua. El Plomo puede causar efectos en la salud como daño a los riñones, abortos, daño al cerebro, disminución de la fertilidad y otros (Lenntech.es).

2.4.2 Efectos ambientales del plomo

El plomo puede contaminar el ambiente por actividades como la minería, la fundición, la metalurgia, la fabricación de productos, el uso de pinturas y gasolinas con plomo, y la combustión de materiales que lo contienen.

Las partículas grandes precipitan en el suelo y en las superficies de agua, las pequeñas partículas viajan largas distancias a través del aire y permanecen en la atmósfera para volver a caer en la tierra cuando llueva (Lenntech.es).

2.4.3 Análisis químico por adsorción atómica

La técnica de espectrofotometría de absorción atómica se emplea en el análisis químico para medir la cantidad de elementos metálicos en una muestra. Esta técnica se basa en la evaluación de la radiación electromagnética que es absorbida por los átomos del elemento relevante en la muestra. Se dirige un rayo de luz a través de la muestra y se registra la cantidad de luz que es absorbida por los átomos de acuerdo a la longitud de onda específica. Con el registro de la luz absorbida, es posible calcular la concentración del elemento en la muestra utilizando una curva de calibración que se ha establecido de antemano. (Orozcolab.com)

2.5 Técnicas Convencionales de remoción de Cobre y Plomo

2.5.1 Precipitación química

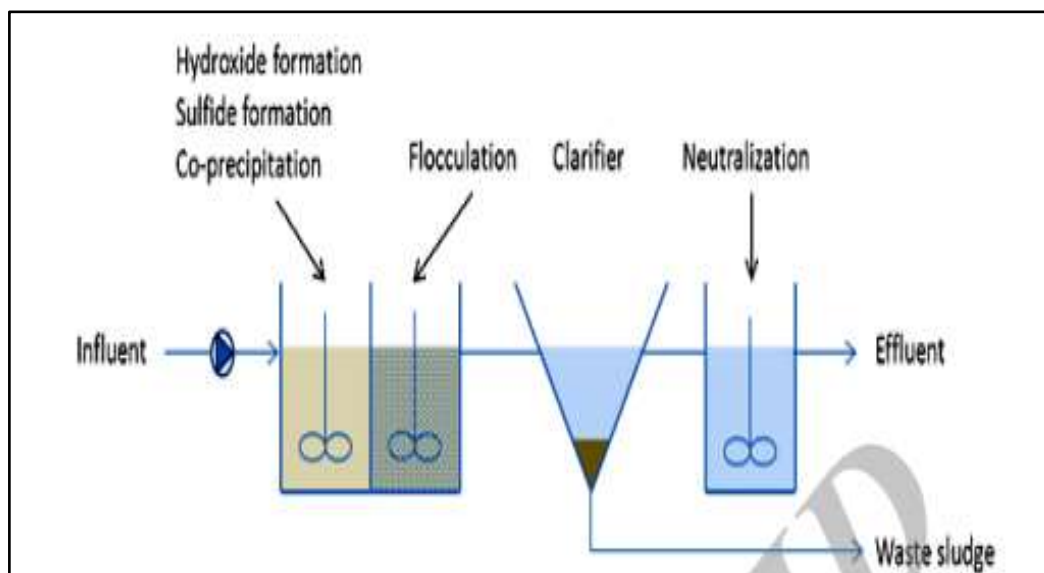
La precipitación química es eficaz y es el tratamiento más utilizado en la industria porque es relativamente sencilla. En los procesos de precipitación, los productos químicos reaccionan con iones de metales pesados para formar precipitados insolubles. Dichos precipitados se separan del agua mediante la sedimentación

o filtración, posteriormente el agua tratada se decanta y se descarga o se reutiliza de forma adecuada (Fu Fenglian, 2011).

La precipitación química requiere de unos varios productos químicos para reducir los metales de manera eficiente para su descarga. Sin embargo, una dificultad, es la gran cantidad de lodos que se genera, y que requiere un tratamiento posterior o una disposición adecuada. (Arbabi, M. 2016). En la figura 18, se puede observar el método de coprecipitación para la eliminación de iones de cobre de aguas residuales.

Figura 18.

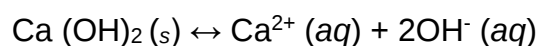
Método de coprecipitación para la eliminación de iones de cobre de aguas residuales.



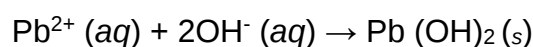
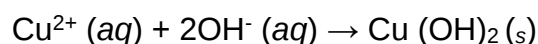
Fuente: Arbabi, M. 2016

A continuación, indicamos las reacciones químicas principales involucradas para el método de precipitación química (Sawyer, 2001):

- Precipitación con cal (Hidróxido de Calcio – $\text{Ca}(\text{OH})_2$).



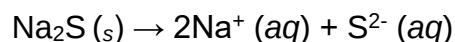
Los iones hidróxido reaccionan con los iones de cobre y plomo para formar hidróxidos metálicos insolubles:



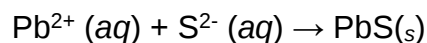
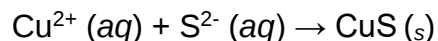
Los hidróxidos metálicos precipitan y pueden ser separados.

- Precipitación con sulfuros (Sulfuro de Sodio – Na_2S).

El Sulfuro de Sodio, se disocia en agua:



Los iones sulfuro reaccionan con los iones de cobre y plomo para formar sulfuros metálicos insolubles:



Estos sulfuros precipitan y se separan.

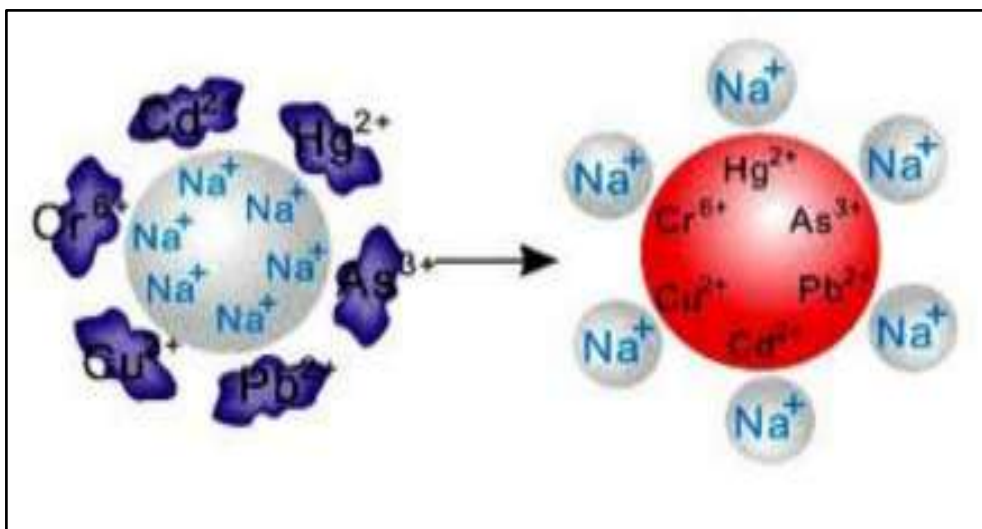
2.5.2 Intercambio Iónico

El intercambio iónico constituye un proceso de separación física en el que los iones intercambiados no llegan a modificarse químicamente. Las principales ventajas que encontramos en el intercambio iónico son la recuperación del valor del metal, la selectividad, menos volumen de lodos producidos y la reunión de las especificaciones de descarga estrictas. (Caviedes, et al, 2015).

La resina de intercambio iónico sea sintética o natural, necesita ser rejuvenecida continuamente poder eliminar efectivamente los contaminantes, lo cual, puede aumentar el costo de operación, junto con la producción de lodos residuales (Arbabi M, 2016). El intercambio iónico es muy sensible al pH de la solución, como se puede apreciar en la **Figura 19**.

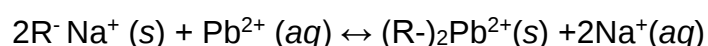
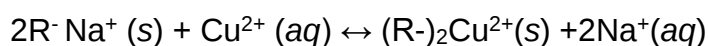
Figura 19.

Diagrama de intercambio iónico



Fuente: Arbabi, M. 2016

El intercambio iónico, no implica una reacción química específica, sino un intercambio físico de iones. Por ejemplo, la resina de intercambio iónico es representada como $R^- Na^+$ para una resina catiónica con iones de sodio intercambiable, como se muestra a continuación:



Cuando la resina se satura, se regenera invirtiendo la reacción con una solución concentrada de Na^+ .

2.5.3 Electrodialisis

Es una técnica de descontaminación que puede remover componentes iónicos de soluciones acuosas empleando membranas permeables selectivas en un campo eléctrico constante. Esta técnica tiene la capacidad de remover iones contaminantes cargados de hasta $0,0001 \mu m$, mediante hojas o laminas porosas de resinas de intercambio iónico con una baja permeabilidad relativa para el agua. (Caviedes, et al, 2015)

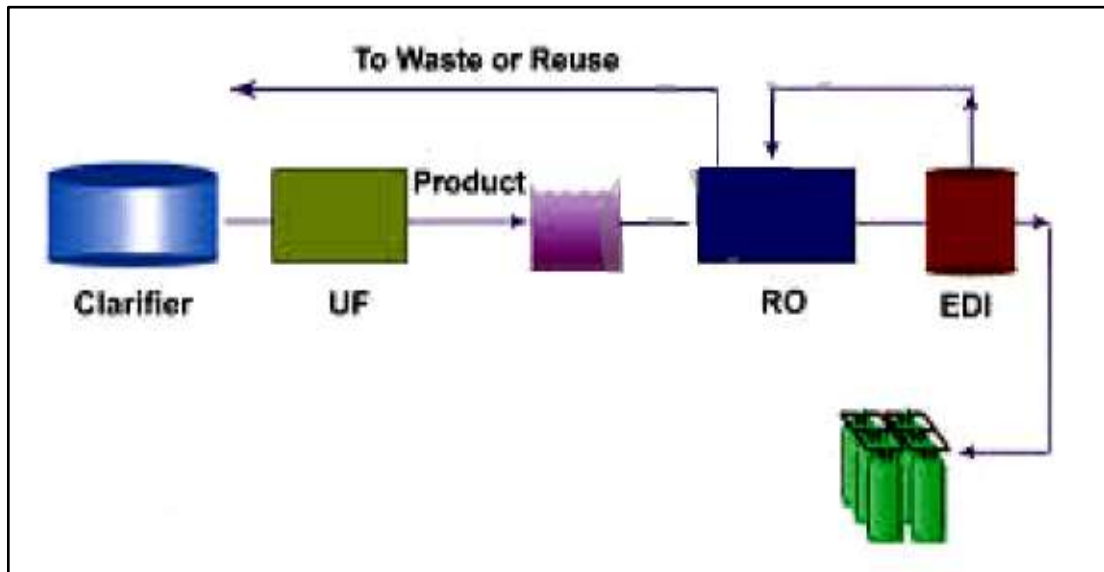
2.5.4 Filtración por membrana

La filtración por membrana es un proceso de separación impulsado por presión para $Cu(II)$ que se basa en la exclusión por tamaño y el mejor rendimiento.

La ósmosis inversa es uno de los ejemplos de la filtración por membrana (FM) para la eliminación de Cu , Zn , Cd o Cr de aguas residuales sintéticas y reales. El rendimiento en el proceso de filtración se puede optimizar haciendo entrar en tratamiento las membranas con adecuadas sustancias químicas. La ultrafiltración (UF) es un proceso de separación que tiene lugar a baja presión, utilizando el tamaño de las partículas; además, requiere mucha energía y no puede utilizarse puesto que el tamaño de los poros de la membrana UF es muy mayor que el de los iones de cobre disueltos. La nanofiltración (NF) es el método que se encuentra entre la UF y la OI, siendo una tecnología interesante para el rechazo de metales pesados como el cobre. (Arbabi M, 2016). En la **Figura 20**, se observa la secuencia de filtración por membrana.

Figura 20.

Uso de la tecnología filtración por membrana para el tratamiento del cobre.



Fuente: Arbabi, M. 2016

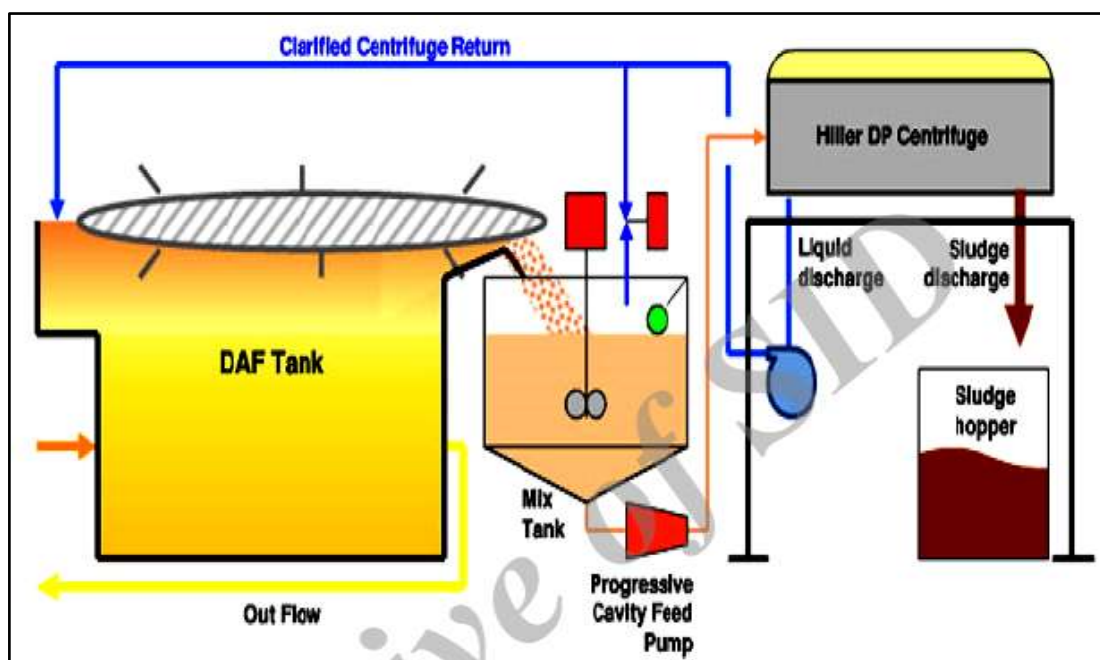
2.5.5 Flotación

El proceso de flotación se basa en impartir las especies iónicas de metal en las aguas residuales hidrófobas mediante el uso de agentes activos de superficie (tensoactivos) y la posterior eliminación de estas especies hidrófobas por burbujas de aire. (Caviedes, et al, 2015).

La flotación por aire disuelto (DAF), la flotación iónica y la flotación por precipitación son los tres métodos de flotación más importantes para el retiro de los iones metálicos de la solución. La flotación por aire disuelto es la que más se aplica dentro de las distintas flotaciones para el tratamiento de las aguas residuales contaminadas por metales. Este proceso consiste en hacer formar microburbujas de aire que se adhieren a las partículas suspendidas en el agua, donde se desarrollan aglomerados de menores densidades que el agua, de forma que los flóculos ascienden en la columna de agua y se acumulan en superficie, donde posteriormente pueden ser eliminados como lodos. (Arbabi M, 2016). Dicho proceso es graficado en la **Figura 21**.

Figura 21.

Remoción de Cu mediante el método de flotación por aire disuelto



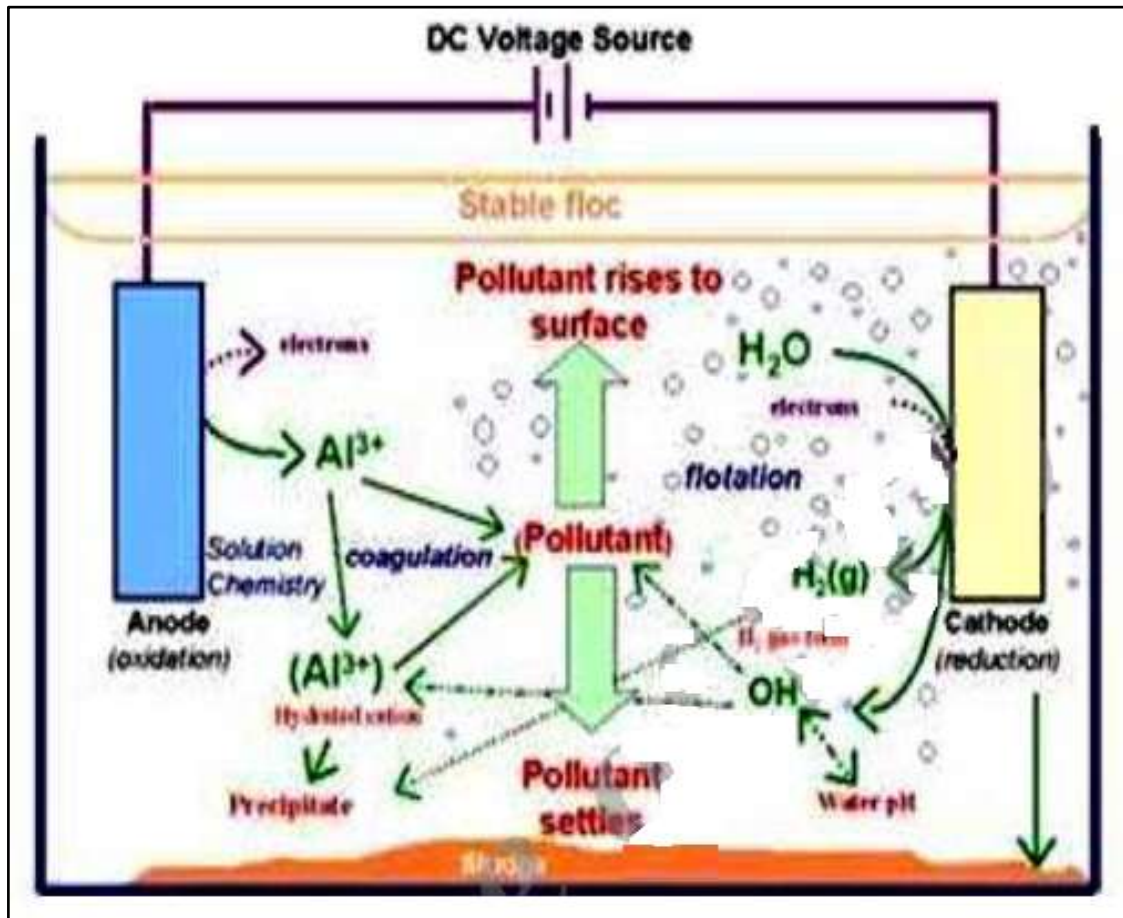
Fuente: Arbabi, M. 2016

2.5.6 Electroquímico

El tratamiento electroquímico se complementa eléctricamente con otras técnicas como la ultrafiltración, la cual es utilizada ampliamente para eliminar los iones de metales pesados tóxicos de las aguas residuales. No obstante, se requiere una alta inversión para poner en marcha el proceso, los costos de funcionamiento y mantenimiento a largo plazo, y los altos costos del suministro eléctrico. La electricidad puede utilizarse en los procesos de electrocoagulación, la electroflotación y la electrodeposición. Estos procesos se consideran rápidos y bien controlados, requieren menos productos químicos, proporcionan buen rendimiento de reducción y producen menos lodos (Arbabi M, 2016). Dichos procesos son graficados en la **Figura 22**.

Figura 22.

Tratamiento electroquímico para la eliminación de Cu.



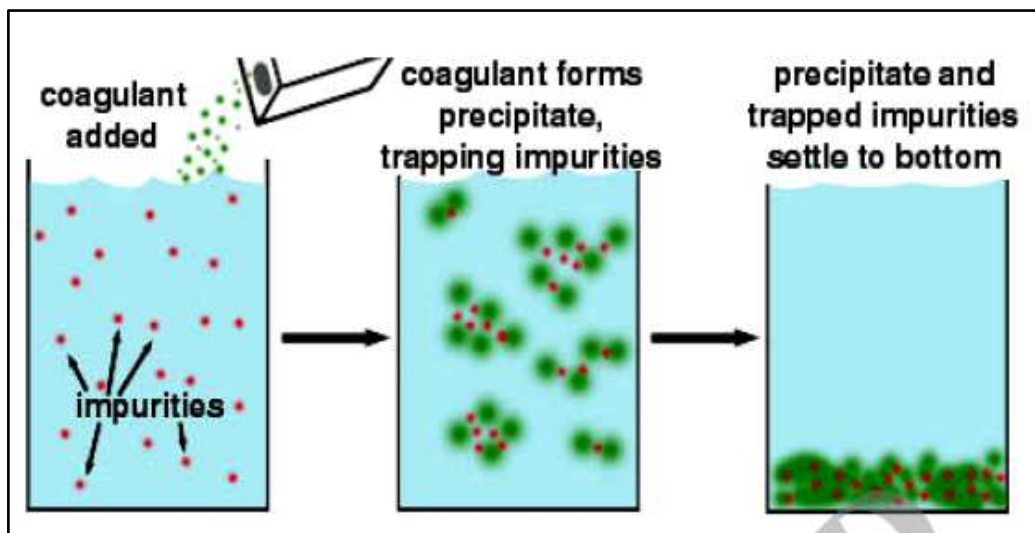
Fuente: Arbabi, M. 2016

2.5.7 Coagulación / Floculación

Es un procedimiento que se desarrolla en dos pasos en el que las partículas se desestabilizan. La coagulación es la primera parte que, en el caso de los coloides, elimina la doble capa de la que todos los coloides están caracterizados, y posteriormente en la floculación se producen los aglomerados de los coloides mediante la atracción de partículas con el aglutinamiento de los floculantes. Los coagulantes químicos utilizados para estabilizar los coloides, que generalmente están presentes en las aguas residuales, son el alumbre, cloruro férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso y cal. (Caviedes, et al, 2015). Los coloides favorecen el proceso de sedimentación, posteriormente en la floculación se forman flóculos de un gran tamaño. (Figura 23)

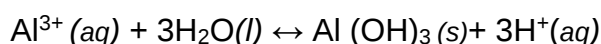
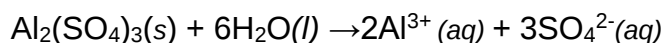
Figura 23.

Eliminación de Cu mediante el proceso de coagulación/floculación.



Fuente: Arbabi, M. 2016

Las reacciones implicadas son principalmente de neutralización de cargas superficiales de las partículas coloidales y la formación de hidróxidos metálicos del coagulante que capturan los contaminantes, como, por ejemplo, sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$):



El $\text{Al}(\text{OH})_3$ forma flóculos que adsorben y atrapan las partículas que contienen los metales pesados.

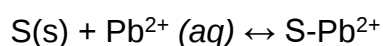
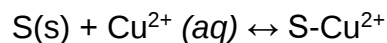
2.5.8 Adsorción

La técnica que se presenta exhibe la remoción de un amplio rango de contaminantes, alta capacidad, rápida cinética y en la mayoría de los casos es selectiva en función del adsorbente, así como de su rendimiento, que depende fundamentalmente de la propia estructura física del adsorbente. Son considerados adsorbentes aquellos carbones activados, arcillas, biopolímeros, zeolitas, perlas de sílice y plantas o residuos lignocelulósicos que serán empleados, en diferentes tipos de modificación química que suelen llevar constantemente para remover colorantes iónicos, metales pesados, materiales

radioactivos y en definitiva todo tipo de contaminantes orgánicos e inorgánicos generados a partir de los diferentes tipos de industrias. (Caviedes, et al, 2015).

La estructura de los poros de los adsorbentes, como el tamaño y la forma, la química de la superficie y el volumen de los poros, hace que se pueda adaptar y diseñar un adsorbente para una mejor o selectiva eliminación de contaminantes específicos y con ello, por aumenta la demanda de materiales porosos como adsorbentes. Según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), los tamaños de poros se pueden clasificar en macroporos (tamaños de poro mayores de 50 nm), mesoporos (tamaños de poro 2–50 nm) y microporos (tamaños de poro menores de 2 nm). La distribución del tamaño de poro tiene un efecto sobre la absorción de adsorbato por el adsorbente. (Ighalo, et al, 2021).

La adsorción es un fenómeno superficial y no es una reacción química específica. Por ejemplo, los iones de cobre y plomo se adhieren a la superficie del material adsorbente (S) a través de diversas interacciones físicas y químicas.



La naturaleza de estas interacciones depende del tipo de adsorbente utilizado (carbón activado, zeolita, biomasa, etc).

2.6 Nanoadsorbentes para la remoción de Cobre (Cu) y Plomo (Pb), en medio acuoso.

La adsorción mediante distintos adsorbentes se considera el método más eficaz para tratar las aguas residuales contaminadas con metales pesados, como los iones de cobre. En específico, los nanoadsorbentes han surgido como los materiales de última tecnología para la eliminación de metales pesados debido a sus propiedades fisicoquímicas particulares, como el tamaño, gran área superficial y reciclabilidad. (Emenike, et al, 2022).

La nanotecnología definida como el diseño, la creación, la síntesis, y la aplicación de sistemas, dispositivos y de materiales en los que uno de sus componentes debe estar en el intervalo de la nanoescala (1 a 100 nm), dicha

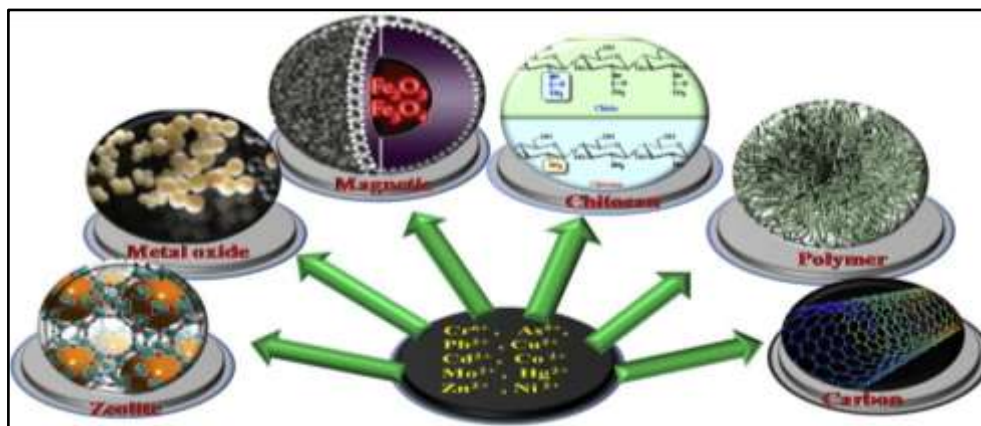
tecnología puede responder a las exigencias de los adsorbentes. Considerando que una de las cualidades más importante de la nanociencia y de la nanotecnología es el aprovisionamiento de materiales nanoestructurados de diferentes formas, tamaño y de composición química, dicha cualidad, es aprovechada en la producción de los “nanoadsorbentes”, los cuales, son introducidos dentro del proceso de adsorción, realizarán la descontaminación de aguas residuales con una elevada eficiencia. Por la gran variedad de nanoadsorbentes, estos se pueden clasificar mayormente en grupos basados en la cantidad de capacidad de adsorción, así como en su forma de funcionamiento externo. (UDLAP, 2024).

Entre los atributos más esenciales que poseen los nanoadsorbentes, está la relación área superficial-volumen que, de hecho, supone un incremento notable a medida que disminuye el tamaño del nanomaterial, siendo a su vez una de las razones que explican el cambio en las propiedades químicas y físicas de las nanopartículas, ya que a medida que se reduce su tamaño la fracción de átomos de la «superficie» será mayor con respecto al material micro o macrométrico. Esto significa que los átomos superficiales de los nanoadsorbentes se caracterizarán por poseer una elevada actividad química y entonces su capacidad de adsorción e interacción con las moléculas del adsorbato (contaminante) se verá incrementada. (UDLAP, 2024).

Últimamente se vienen estudiando varios tipos de nanopartículas (NP), como las, metálicas, bimetálicas, de óxido metálico, magnéticas, de ferrita, de quitosano, basadas en polímeros, carbonosas, de zeolita, etc., para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con iones de metales pesados. Estos nanomateriales eliminan principalmente los iones de metales pesados mediante su adsorción en sus superficies. (Shweta, et al, 2020) tal como se observa en la **Figura 24**.

Figura 24.

Uso de nanomateriales que eliminan iones de metales pesados

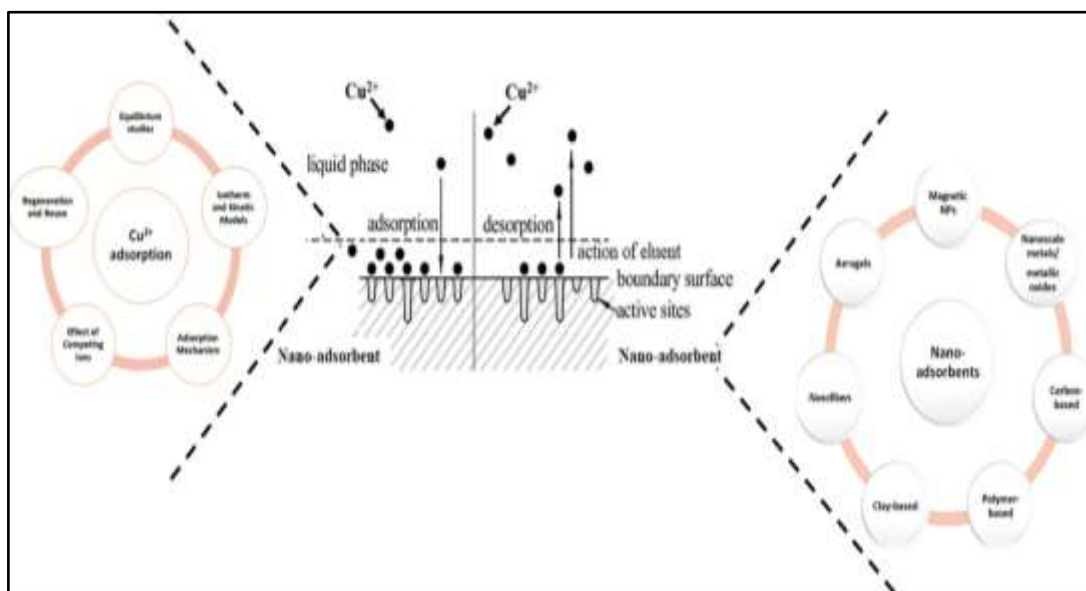


Fuente: Shweta, et al, 2020

Las investigaciones revelan que se han utilizado varias clases de nanoadsorbentes para la remoción de iones cobre, como las nanopartículas magnéticas (NMP), óxidos metálicos a nanoescala, nanoadsorbente a base de carbono, a base de polímeros y a base de arcillas, nanofibras, aerogeles, como se observa en la **Figura 25**.

Figura 25.

Uso de nanoadsorbentes para eliminar iones cobre.



Fuente: Emenike. 2022

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Descripción de la Metodología de Investigación

La metodología de investigación (Hernández, et al. 2014) correspondiente al presente trabajo de investigación, fue la siguiente:

- Tipo de Investigación:
Aplicado: Busca resolver problemas específicos y prácticos;
Cuantitativo: Recopila y analiza datos numéricos, para validar la hipótesis planteada.
- Nivel de Investigación:
Exploratorio: El presente proyecto es novedoso y requiere mayor indagación inicial.
Descriptivo: Busca especificar propiedades y características de los nano adsorbentes.
Explicativo: Intenta establecer y justificar las causas del proceso de remoción de los metales pesados en el efluente.
- Diseño de Investigación:
Experimental, Implica manipular según criterio, una o mas variables independientes para analizar los efectos en las variables dependientes.

Población:

Efluente industrial, sustancias y solventes precursores de nanomateriales que pueden remover Cu y Pb en medio acuoso.

Muestra:

- Muestras del efluente industrial (Muestra del espesador) con pH=7.10.
- Nanomateriales de Sulfuro de Cadmio (CdS) sintetizados en laboratorio a partir de CdSO₄ (1M), EDTA (0.1M), Na₂S (1M).
- Nanomateriales de Sulfuro de Cadmio (CdS) sintetizados en laboratorio a partir de CdCl₂ (0.5M), Na₂S (0.5M), H₆N₂SO₄ (0.1M).

Técnicas de recolección de información: Se consideró lo siguiente:

- Se midió el pH del efluente industrial, y se obtuvo la data del contenido metálico (Cu y Pb).
- Se sintetizaron y caracterizaron los nanomateriales de sulfuro de Cadmio (CdS).
- Remoción del Cu y Pb utilizando los nanoadsorbentes que fueron caracterizados.
- Determinación de la concentración final de Cu y Pb.

Materiales y equipos que se encuentran en el laboratorio; sustancias y solventes; y agua destilada.

Técnicas de procedimiento de datos: Se considera lo siguiente:

- Síntesis de nanopartículas de sulfuro de Cadmio, utilizando como precursores Sulfato de Cadmio (CdSO_4) y Sulfuro de sodio (Na_2S).
- Síntesis de nanopartículas de sulfuro de Cadmio, utilizando como precursores Cloruro de Cadmio monohidratado ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) y Sulfuro de sodio (Na_2S).
- Análisis químico de los efluentes industriales.
- Caracterización microestructural por Difracción de Rayos-X (DRX) de la muestra de CdS sintetizada, con Sulfato de Cadmio (CdSO_4) y Sulfuro de sodio (Na_2S).
- Caracterización a nivel microestructural por Difracción de Rayos-X (DRX) de la muestra de Cd sintetizadas, con Cloruro de Cadmio monohidratado ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) y Sulfuro de sodio (Na_2S).
- Caracterización a nivel microestructural por Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) de las muestras sintetizadas.
- Pruebas de remoción de cobre (Cu) y Plomo (Pb) de las muestras empleando nanoadsorbente de CdS.

3.2 Desarrollo del trabajo de tesis

Para realizar las pruebas de remoción de cobre se utilizó como nano adsorbente el CdS, obtenido a nivel experimental a partir de la síntesis de CdS empleando como precursores al CdSO_4 , Na_2S ; y al CdCl_2 y como agentes reductores del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y al $\text{H}_6\text{N}_2\text{SO}_4$ (sulfato de Hidracina).

A continuación, se describen procedimientos desarrollados en la fase experimental de la investigación (Majid & Bibi, 2018).

3.2.1 Síntesis de nanopartículas de Sulfuro de Cadmio

La síntesis del CdS se realizó de dos maneras:

a) Síntesis de CdS utilizando como agente reductor el EDTA

Reactivos:

- 19.237gr de CdSO_4 (1M) (PM: 759.51 gr/mol)
- 1.951gr de Na_2S (1M) (PM: 78.05 gr/mol)
- 0.9306gr de EDTA (0.1M) (PM: 372.24 gr/mol)
- Agua destilada.

Los reactivos utilizados se pueden apreciar en la **Figura 26**

Figura 26.

Reactivos utilizados para el procedimiento experimental



Fuente: Elaboración propia.

Materiales:

Para la experimentación, se emplearon los siguientes materiales:

- Probetas de 50 mL
- Precipitados (vasos) de 200 mL
- Piseta y Bagueta
- Tubos para el centrifugado
- Crisol de porcelana

- Tubos de microcentrifugado

Equipos:

Para la experimentación, se emplearon los siguientes equipos:

- Plancha de Calentamiento con agitador magnético (500 RPM).
- Balanza Analítica de laboratorio
- Centrífuga (a 3500 RPM por 5 minutos)
- Secadora a 100 °C

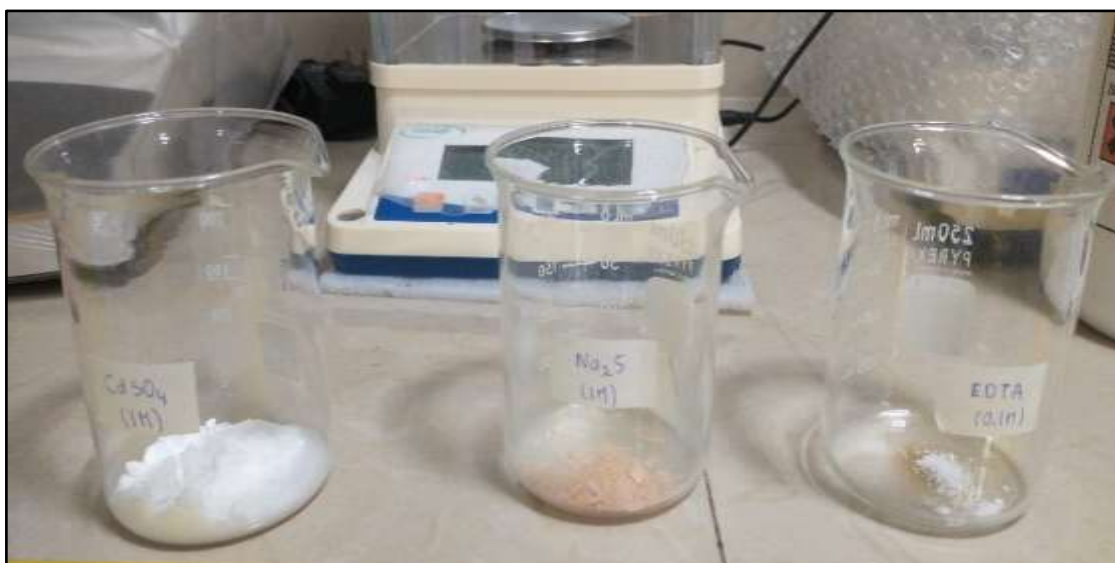
Procedimiento Experimental:

A continuación, se describe paso a paso, del procedimiento realizado en el laboratorio.

1. Se pesaron en la balanza analítica los gramos requeridos de cada precursor (CdSO_4) y (Na_2S); y agente reductor (EDTA) con ayuda de un vaso de precipitado y una cucharita metálica. (Ver **Figura 27**).

Figura 27.

Reactivos pesados CdSO_4 (1M), Na_2S (1M), EDTA (0.1M)

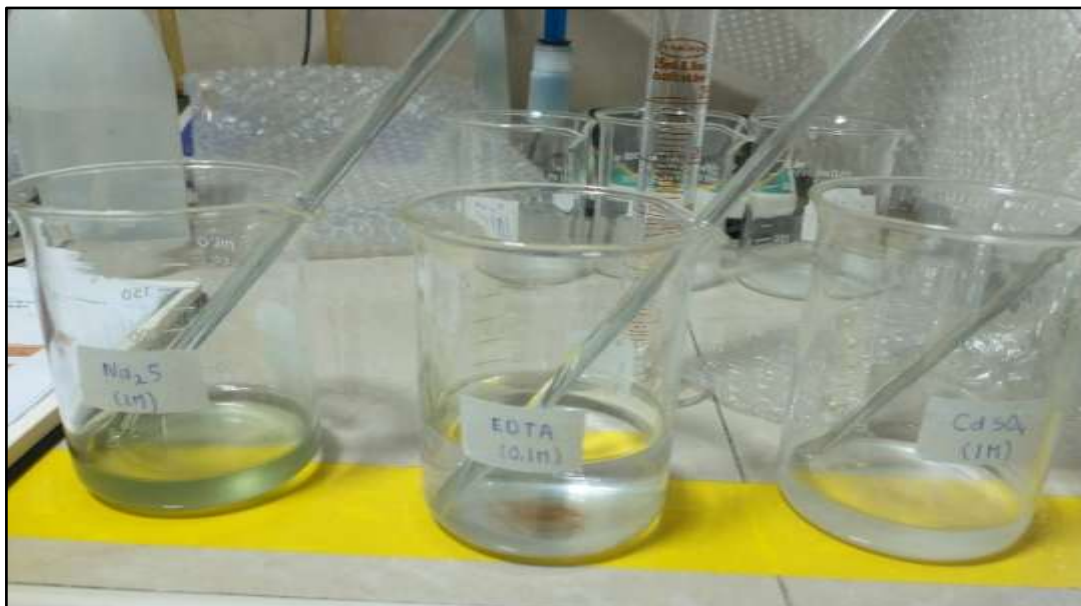


Fuente: Elaboración propia.

2. Se prepararon 25 mL de solución 1.0M CdSO_4 , 25mL de solución 1.0M, Na_2S y 25mL de solución 0.1 M EDTA, luego ésta es enrasada hasta 100mL con agua destilada, tal como se muestra en la siguiente **Figura 28**

Figura 28.

Preparación de las soluciones de CdSO_4 , Na_2S y EDTA.

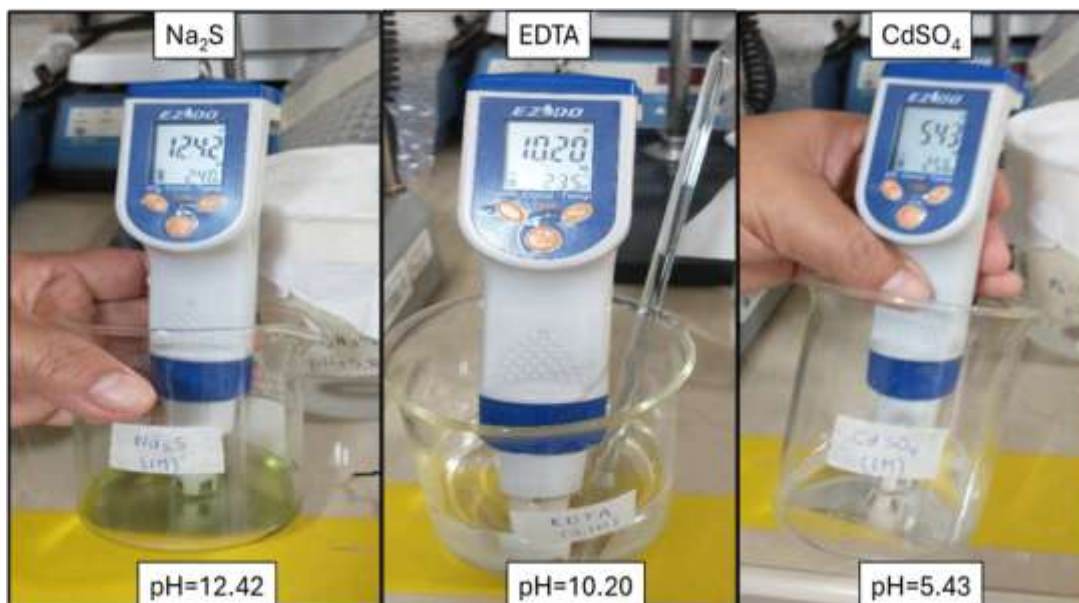


Fuente: Elaboración propia.

- Posteriormente se toma medida del pH de las concentraciones de cada una de las soluciones, como se aprecia en la **Figura 29**

Figura 29

Obtención del pH de la solución de Na_2S , EDTA, CdSO_4 .

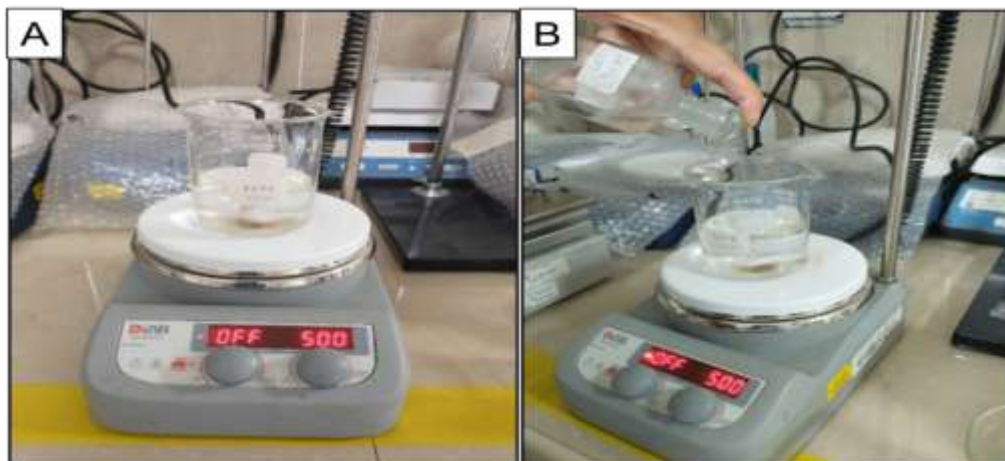


Fuente: Elaboración propia.

4. La solución de EDTA es llevada a agitación de 500 RPM, no requiere calentamiento. Luego de algunos minutos, se le agrega la solución de CdSO_4 por goteo, como se aprecia en la **Figura 30**

Figura 30

(A) Solución de EDTA con agitación de 500RPM, (B) se agrega la solución CdSO_4 .

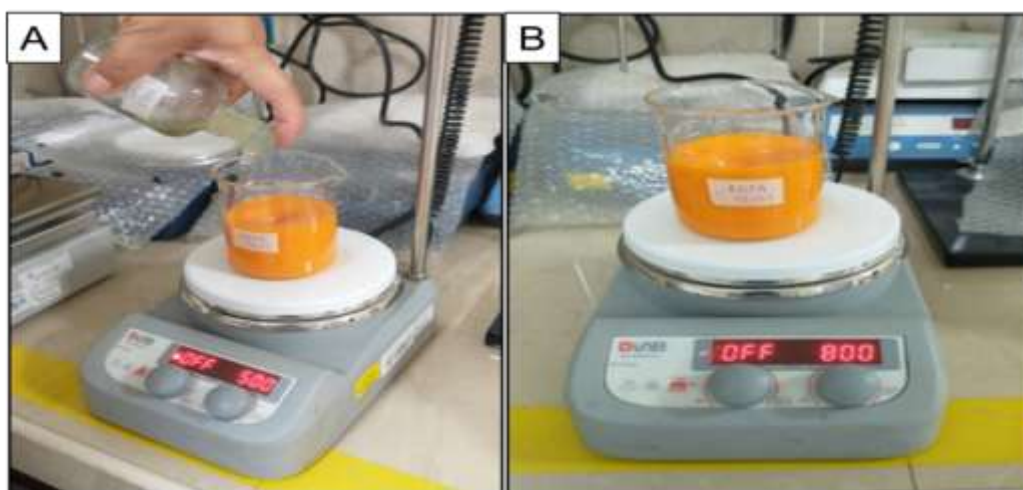


Fuente: Elaboración propia.

5. Se observa el cambio de tonalidad de la solución a un color anaranjado, con una agitación constante de 500 RPM (**Figura 31A**). Luego de unos segundos, la solución comenzó a formar un precipitado de sulfuro de cadmio (CdS), observándose un incremento en la densidad, por lo que se decidió aumentar la intensidad de agitación a 800RPM por 5 minutos (**Figura 31B**).

Figura 31.

A) Solución con agitación de 500RPM, B) Solución con agitación de 800RPM.



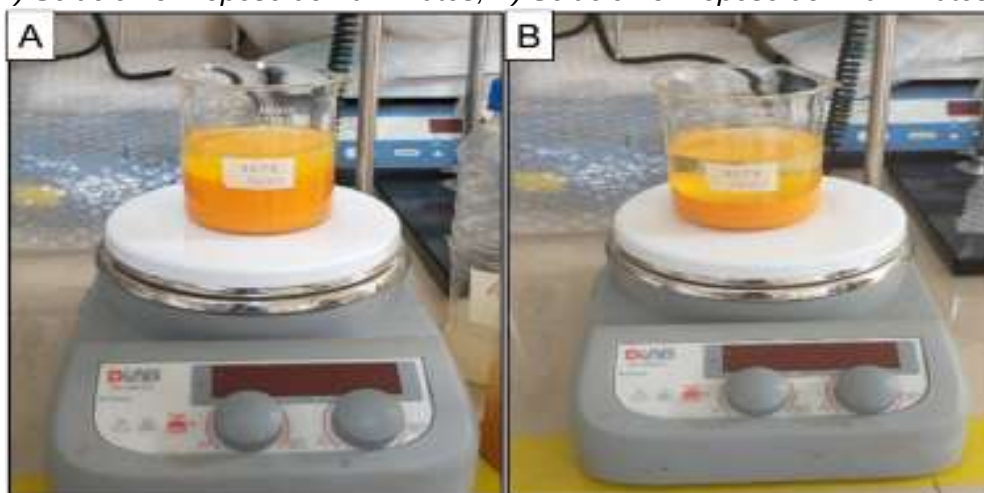
Fuente: Elaboración propia.

Se detiene la agitación constante, observándose que, al paso del tiempo, se inicia la precipitación del sulfuro de cadmio, (ver **Figura 32**).

Se puede observar en la **Figura 32 A** el reposo en tiempo de 20 minutos y en la **Figura 32 B** el reposo de 120 minutos.

Figura 32.

A) Solución en reposo de 20 minutos, B) Solución en reposo de 120 minutos.



Fuente: Elaboración propia

6. Finalmente se midió el pH de la solución, posterior a las 2 horas de haberse detenido la agitación, dando un valor de pH= **5.95**, tal como se aprecia en la **Figura 33**

Figura 33.

Medición de pH de la solución

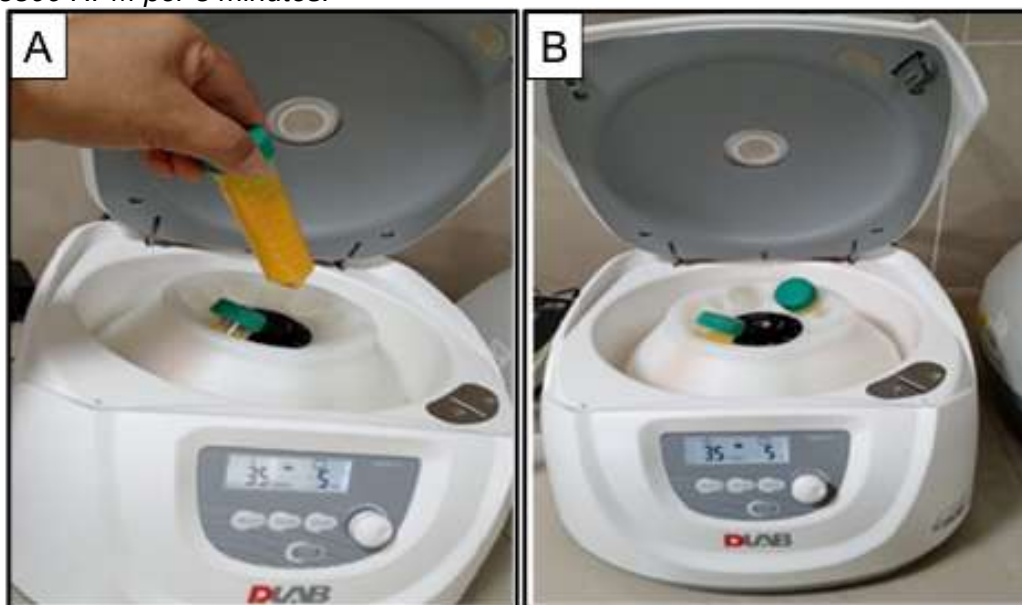


Fuente: Elaboración propia

7. El sobrenadante generado pasa posteriormente a un proceso de decantación, separándose la fase sólida de la líquida por medio de una centrifuga a 3500 RPM, durante un estimado de 5 minutos, como se aprecia en la **Figura 34**.

Figura 34.

A) Colocación de la solución en la centrifugadora, B) Se programa la centrifugación a 3500 RPM por 5 minutos.

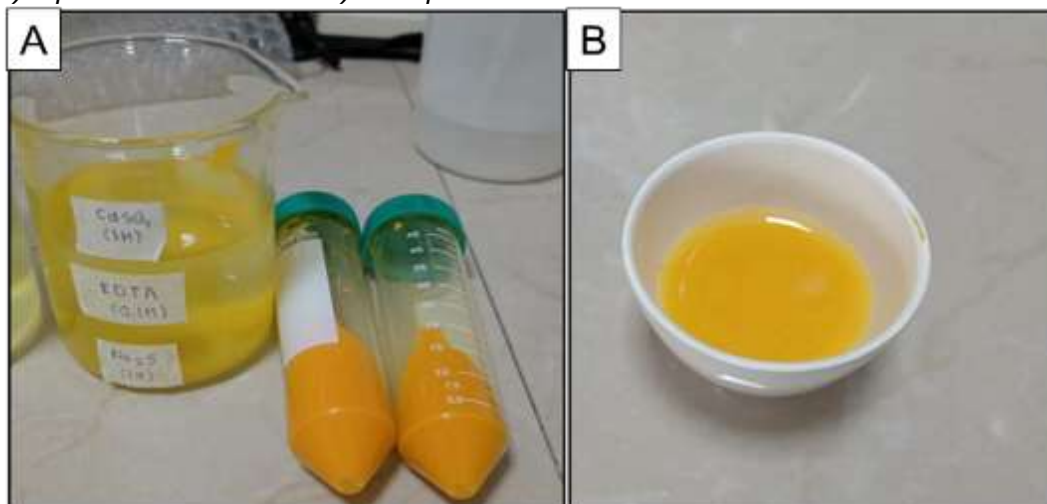


Fuente: Elaboración propia

Se realizó 5 pruebas de lavado en la centrifuga y finalmente se colocó el precipitado en un crisol tal como se observa en la **Figura 35 A y B**.

Figura 35.

A) 5 pruebas de lavado. B) Precipitado colocado en un crisol.



Fuente: Elaboración propia

8. La fase sólida es llevada a una Estufa a una temperatura de secado de 100°C por 2 horas, como se aprecia en la **Figura 36**

Figura 36

A) Crisol colocado en la Estufa, B) Secado programado a 100 °C por dos horas en Estufa.

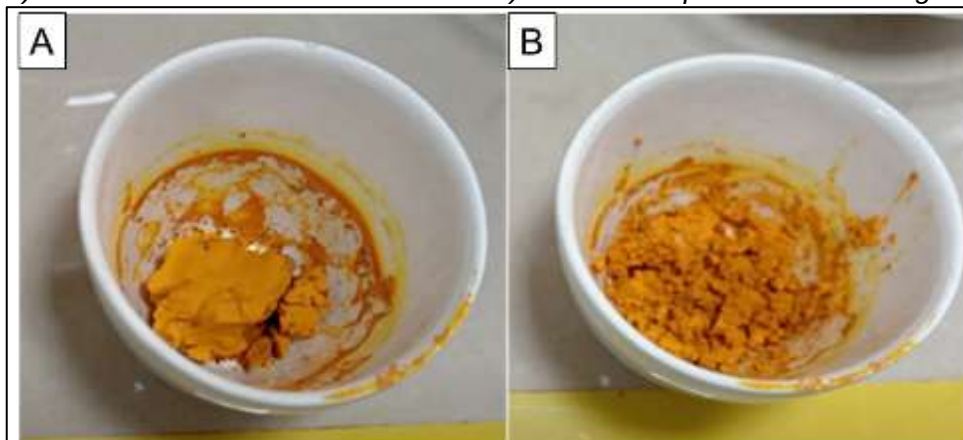


Fuente: Elaboración propia

9. Transcurrida las dos horas, la muestra se encuentra seca (**Figura 37 A**), por lo cual se procedió a desaglomerar con apoyo de un mortero. (**Figura 37 B**).

Figura 37.

A) Muestra recién salida de la Estufa B) Muestra en procesos de desaglomeración.

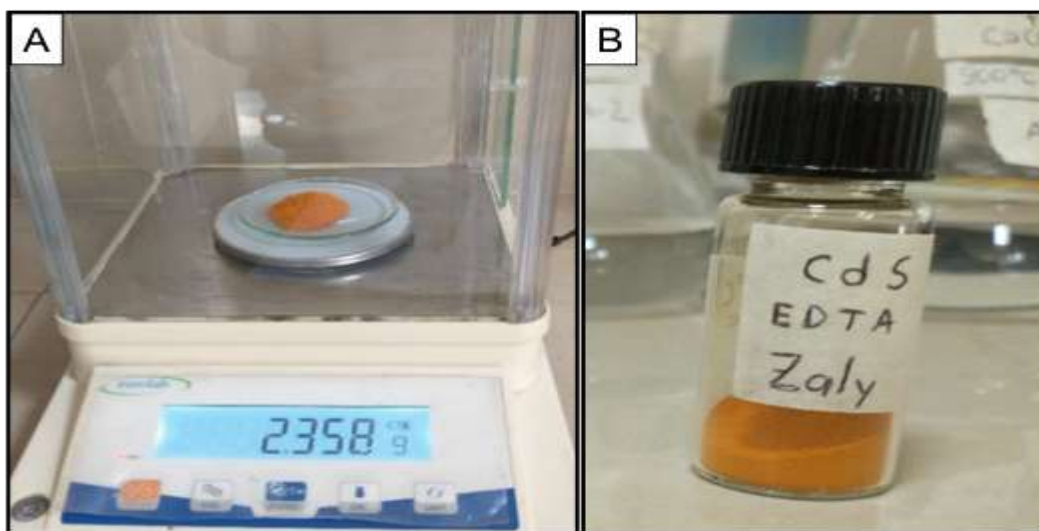


Fuente: Elaboración propia

10. Posteriormente, se procedió a pesar la muestra totalmente desaglomerada, dando un valor de 2.358g, (**Figura 38 A**) finalmente, se colocó en un pequeño frasco de vidrio la muestra final (**Figura 38 B**), para su posterior caracterización por Difracción de Rayos-X (DRX) y Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).

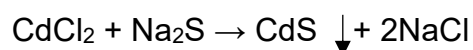
Figura 38.

A) Pesaje de la muestra final, B) Muestra final almacenada.



Fuente: Elaboración propia

La reacción química involucrada es:



b) Síntesis de CdS utilizando como agente reductor el Sulfato de Hidracina

Reactivos:

- 2.123gr de $\text{CdCl}_2\text{H}_2\text{O}$ (0.5M) (PM: 201.32 gr/mol)
- 0.780gr de Na_2S (0.5M) (PM: 78.05 gr/mol)
- 0.26gr de $\text{H}_6\text{N}_2\text{SO}_4$ (0.1M) (PM: 130.12 gr/mol)
- Agua destilada

Materiales:

- Probetas de 50 mL
- Vasos de precipitados de 200 mL

- Piseta
- Bagueta
- Tubos de centrifugado
- Crisol de porcelana
- Tubos de microcentrifugado

Equipos:

Para la experimentación, se emplearon los siguientes equipos:

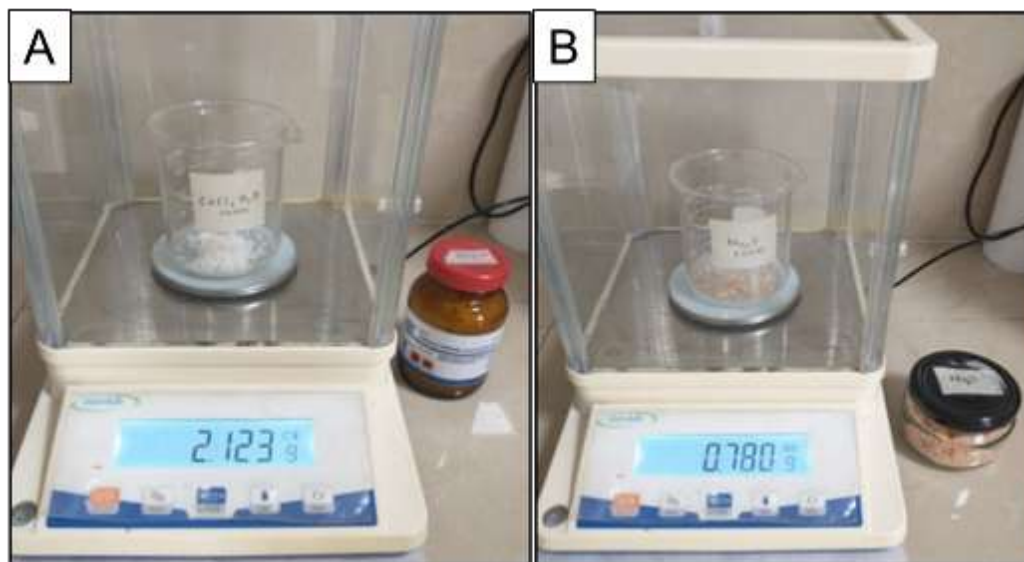
- Plancha de calentamiento con agitador magnético.
- Balanza Analítica de laboratorio
- Centrifuga (a 3500 RPM por 5 minutos)
- Estufa de secado a 100 °C

Procedimiento Experimental:

1. Inicialmente, se pesaron los gramos requeridos de cada precursor ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y Na_2S) con ayuda de un vaso de precipitado y una cucharita metálica, como se aprecia en la **Figura 39**.

Figura 39.

A) Pesaje del insumo precursor ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), B) Pesaje del insumo precursor (Na_2S)



Fuente: **Elaboración propia**

2. Luego, se pesaron los gramos requeridos del agente reductor ($\text{H}_6\text{N}_2\text{SO}_4$) con ayuda de un vaso de precipitado y una cucharita metálica. (ver **Figura 40**).

Figura 40.

Pesaje del agente reductor ($H_6N_2SO_4$)



Fuente: Elaboración propia

3. Seguidamente, se prepararon 20 mL de solución 0.5M $CdCl_2$, 20mL de solución 0.5M, Na_2S y 20mL de solución 0.1 M $H_6N_2SO_4$, tal como se muestra en la **Figura 41**.

Figura 41.

Preparación de las soluciones de $CdCl_2$, Na_2S y $H_6N_2SO_4$



Fuente: Elaboración propia

4. Luego, se incluye Hidróxido de Amonio (NH_4OH) 15N, en la preparación. (**Figura 42**).

Figura 42.

Soluciones de CdCl_2 , Na_2S y $\text{H}_6\text{N}_2\text{SO}_4$ e Hidróxido de Amonio

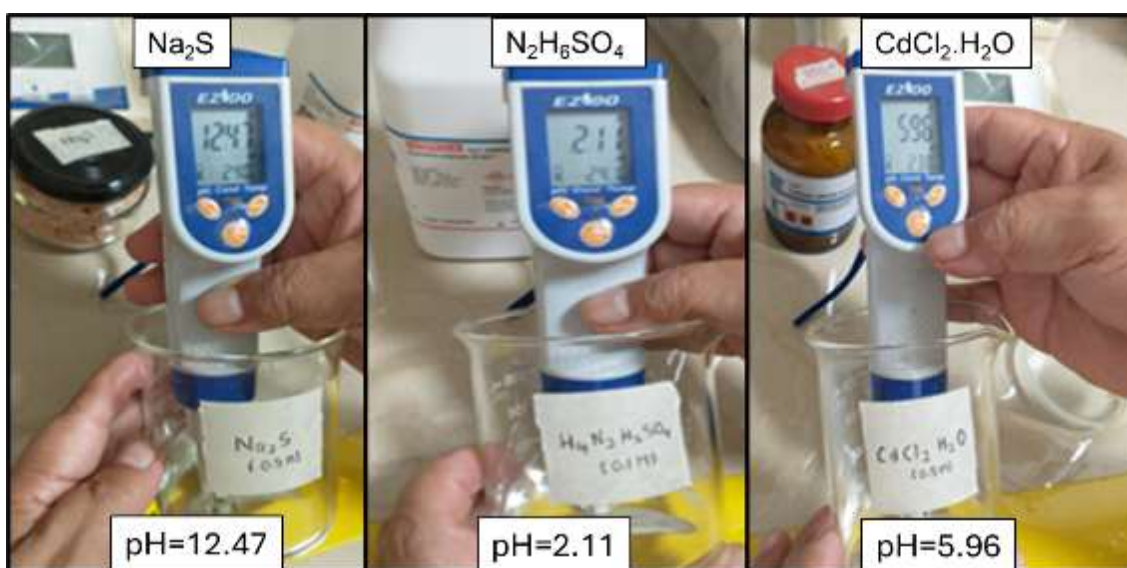


Fuente: Elaboración propia

5. A continuación, se midió el pH de las concentraciones de cada una de las soluciones CdCl_2 , Na_2S y $\text{H}_6\text{N}_2\text{SO}_4$, como se aprecia en la **Figura 43**.

Figura 43.

Obtención del pH de las soluciones

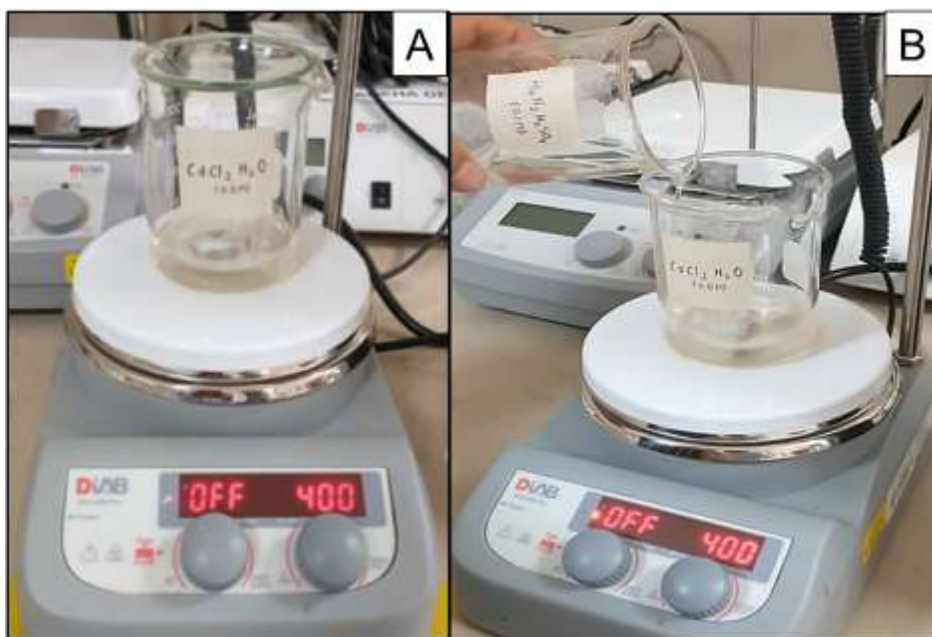


Fuente: Elaboración propia

6. La solución de $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ es llevada a agitación de 400 RPM, sin calentamiento (**Figura 44 A**), para que luego le sea agregada la solución de $\text{N}_2\text{H}_6\text{SO}_4$ (**Figura 44 B**).

Figura 44.

A) Solución de $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ con agitación de 400RPM. B) Vertimiento de la solución $\text{N}_2\text{H}_6\text{SO}_4$, sobre la solución $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

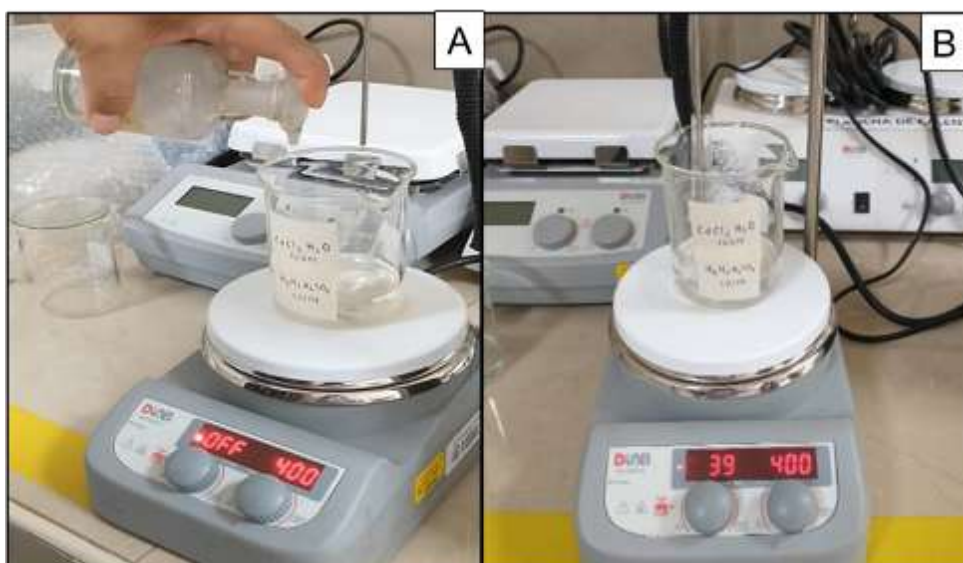


Fuente: Elaboración propia

7. Luego se vertieron 10 gotas de NH_4OH (**Figura 45 A**), aplicando calor a la mezcla a 39°C (**Figura 45 B**) por 30 minutos con agitación constante.

Figura 45.

A) Vertido de NH_4OH a la mezcla, B) Mezcla a 39°C

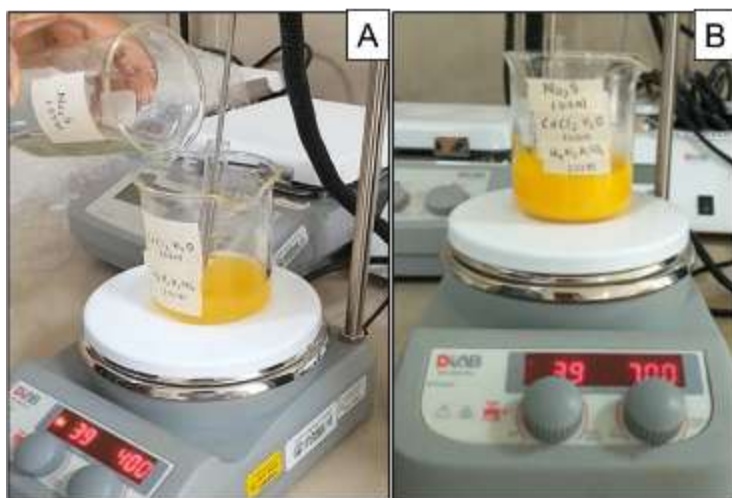


Fuente: Elaboración propia

8. Trascurrido el tiempo, se vertió por goteo la solución de Na_2S , notándose de inmediato que la solución se tornó anaranjada, con una agitación constante de 400 RPM y una temperatura de 39°C (**Figura 46 A**). La formación del precipitado de sulfuro de cadmio se inició de inmediato, provocando un aumento en la densidad de la solución, por lo que se requirió aumentar la intensidad de agitación a 700 RPM por 10 minutos (**Figura 46 B**).

Figura 46.

A) Cambio de color de la solución a anaranjado. B) Solución con agitación de 400RPM a 700RPM.

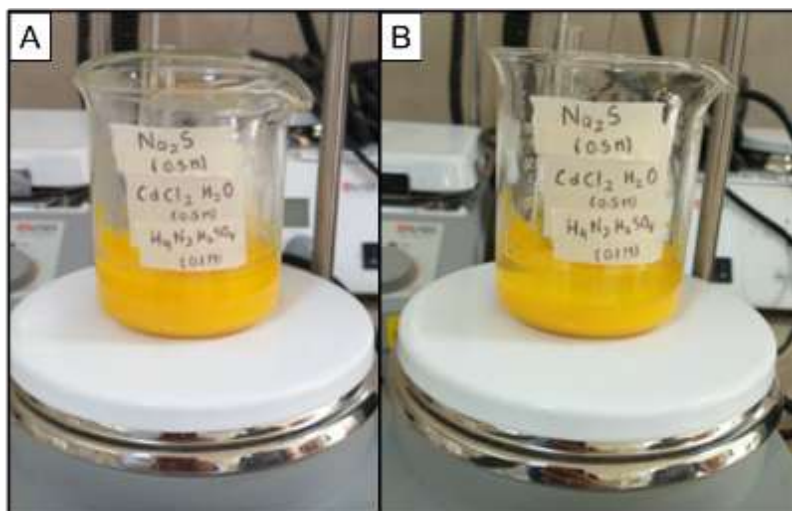


Fuente: Elaboración propia

9. La agitación de la solución se detuvo, y se observó que, al transcurrir los minutos, el precipitado se forma gradualmente (Ver **Figura 47**).

Figura 47.

A) Solución en reposo de 5 min. B) Solución en reposo de 30 min.



Fuente: Elaboración propia

10. Posteriormente se midió el pH dando un valor de $\text{pH}=2.10$. Ver **Figura 48**.

Figura 48.

Medición de pH en la solución.

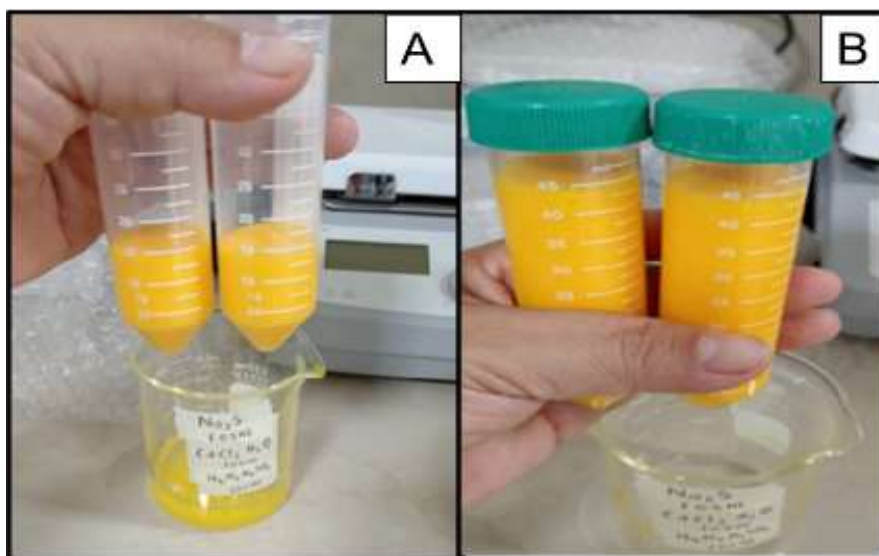


Fuente: Elaboración propia

11. Luego, el sobrenadante es decantado, para luego ser vertido en los tubos de centrifugación (Figura 49 A). La solución en los tubos de centrifugación es completada con agua destilada hasta los 45 mL (Figura 49 B).

Figura 49.

A) Solución decantada, b) Solución enrazada con agua destilada hasta los 45 mL.

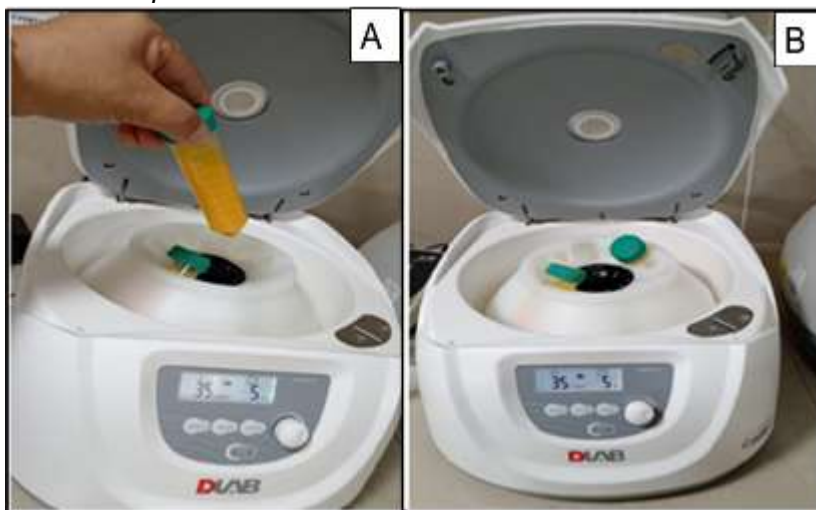


Fuente: Elaboración propia

12. El sobrenadante generado pasa posteriormente a un proceso de decantación, separándose la fase sólida de la líquida por medio de una centrifugadora a 3500 RPM, durante un tiempo estimado de 5 minutos, como se aprecia en la **Figura 50**.

Figura 50.

A) Colocación de la solución en la centrifugadora, B) Se programa la centrifugación a 3500 RPM por 5 minutos.

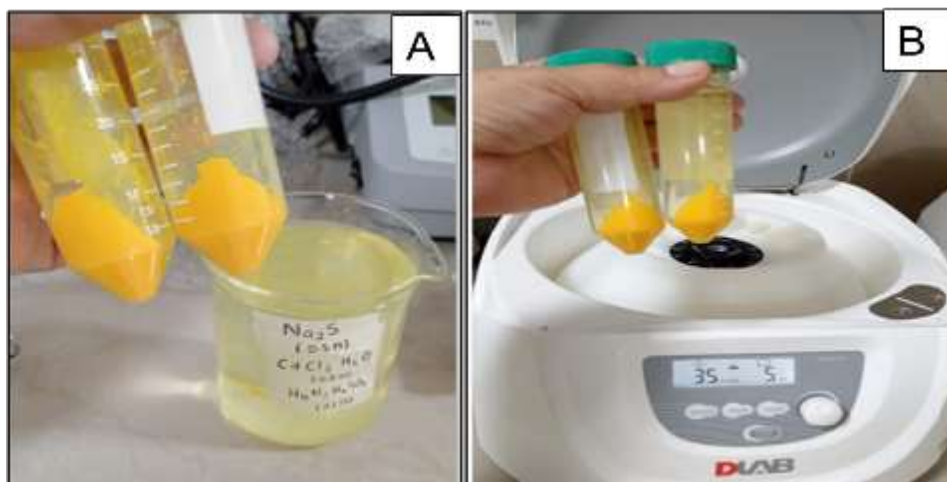


Fuente: Elaboración propia

13. Posteriormente, se vertió el sobrenadante al vaso de precipitado (**Figura 51 A**), completándose los tubos hasta 45ml con agua destilada. Se repitió la acción 5 veces (**Figura 51 B**).

Figura 51.

A) Vertimiento del sobrenadante al vaso precipitado. B) Se enraza la solución hasta los 45 mL

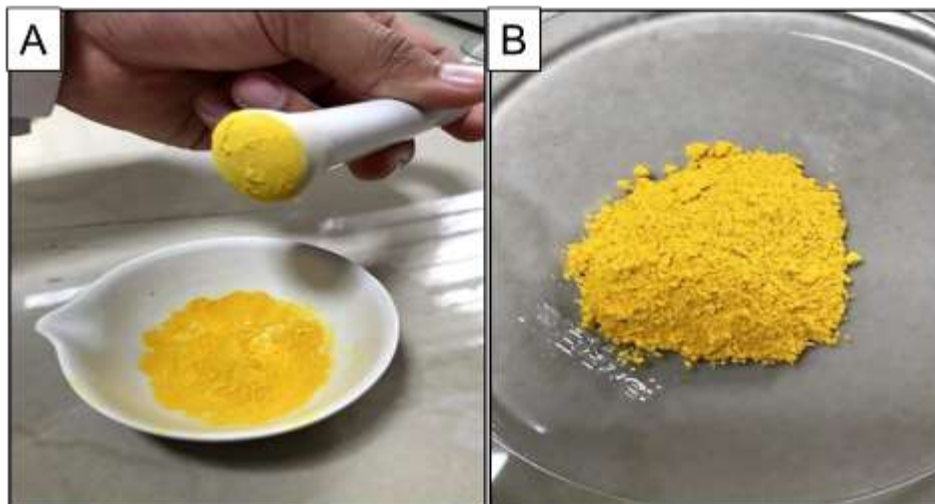


Fuente: Elaboración propia

14. A continuación, la fase sólida se colocó en un crisol (**Figura 52 A**), para luego ser llevada a la estufa a una temperatura de secado 30 °C por 12 horas. Luego de secada la muestra, se procedió a desaglomerar (**Figura 52 B**).

Figura 52.

A) Muestra seca, B) Muestra desaglomerada.



Fuente: Elaboración propia

15. Se procedió a pesar la muestra final dando un valor de 0.96g (**Figura 53 A**), finalmente, se colocó en un frasco de plástico para su posterior caracterización (**Figura 53 B**), por Difracción de Rayos-X, DRX y Microscopia Electrónica de Barrido, SEM.

Figura 53.

A) Pesaje de la muestra final, B) Muestra final almacenada.



Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Caracterización microestructural por Difracción de Rayos-X (DRX) de las muestras de sulfuro de cadmio, CdS.

Las muestras de sulfuro de cadmio, CdS luego de ser sintetizadas, fueron enviadas a ser analizadas empleando Difracción de Rayos-X, para determinar el tamaño de cristalito de las muestras. En el Laboratorio de Ciencias de la UNI el equipo DRX es un Difractómetro Bruker. Una vez recibido los datos de los difractogramas, estos fueron analizados empleando el Software PowderCell 2.4, que es un software libre.

3.2.3 Caracterización microestructural por Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) de las muestras sintetizadas

Las muestras de sulfuro de cadmio, CdS, fueron enviadas a ser analizadas por Microscopia Electrónica de Barrido (MEB), para poder determinar la morfología y el tamaño de partícula de las muestras en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias de la UNI. Además, se realizó análisis por Microscopia de Energía Dispersiva EDS, acoplada en MEB.

3.2.4 Pruebas Experimentales de remoción de Cu y Pb utilizando la Muestra del espesador empleando nanoadsorbentes de CdS

Insumos:

- 100 mL de muestra de espesador de mina A
- CdS sintetizada (obtenido del agente reductor EDTA).
- CdS sintetizada (obtenido del agente reductor Sulfato de Hidracina).

Materiales:

- Vasos de precipitados de 300 mL
- Piseta
- Bagueta

Equipos:

- pHmetro
- Balanza Analítica de laboratorio
- Plancha de Agitación a 300 RPM (para tiempos variados)

Procedimiento Experimental:

1. Se midió el pH de la Muestra del espesador, que es un efluente acuoso el cual se obtuvo un pH= 6.78, tal como se aprecia en la **Figura 54**.

Figura 54.

Medición de pH del efluente industrial



Fuente: Elaboración propia

2. Se procedió a pesar 0.005 gr de CdS (Sulfuro de Cadmio sintetizado), siendo esta la cantidad de nanopartículas que servirán para determinar el potencial de remoción a 300RPM (ver **Figura 55**). Luego, se procedió a adicionar 25 mL de cada efluente acuoso de la muestra del espesador, distribuidos en vasos precipitados (ver **Figura 56**).

Figura 55.

Pesaje de nanopartículas CdS.



Fuente: Elaboración propia

Figura 56.

Aplicación de nanopartículas a las soluciones acuosas



Fuente: Elaboración propia

3. Utilizando una Plancha con Agitador Magnético a una velocidad de 300 RPM se procedió a colocar los vasos de precipitados para realizar la remoción del Cu y Pb a diferentes tiempos: 1min, 3min, 6min, 10min, 15min y 20 min. (ver **Figura 57**).

Figura 57.

Remoción de Cu y Pb empleando nanopartículas de CdS a diferentes tiempos de remoción en Plancha con Agitador Magnético.

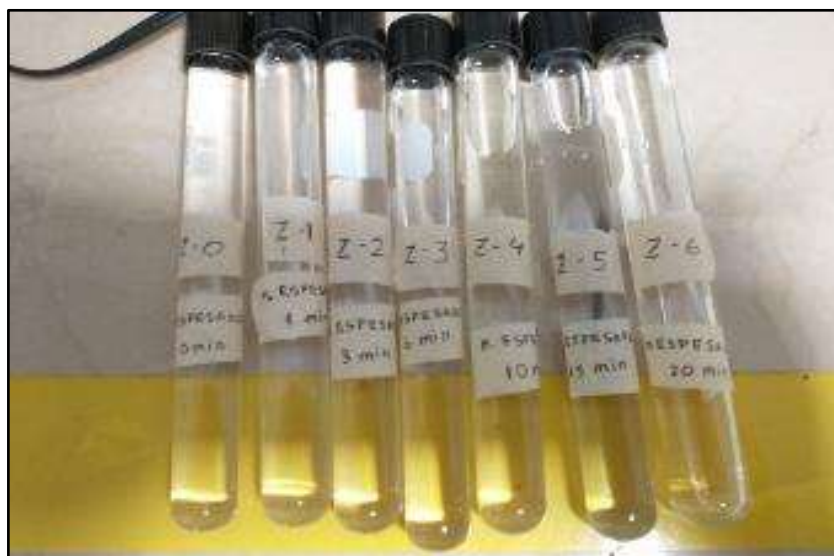


Fuente: Elaboración propia

4. Luego de que cada vaso cumpliera cada tiempo de agitación, se procedió a filtrar las muestras para obtener la solución libre de metales pesados, procediéndose a rotular cada tubo con su respectivo código para luego enviar el efluente acuoso a ser analizado por Absorción Atómica en el Laboratorio de Espectrometría de la FIGMM. (ver **Figura 58**).

Figura 58.

Tubos rotulados con su respectivo código para su posterior análisis de laboratorio.



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Análisis de Datos y Resultados

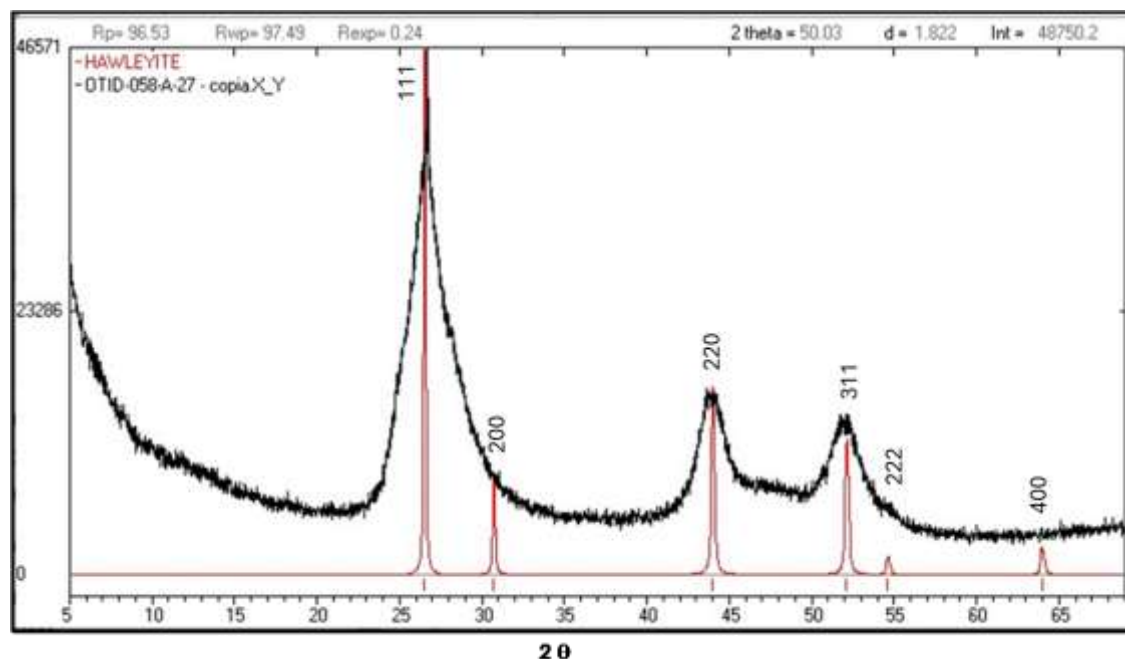
A continuación, se procede a realizar los análisis de datos y resultados de las pruebas de síntesis de formación de sulfuro de cadmio y de la remoción de cobre y plomo de los efluentes acuosos.

4.1.1 Análisis de los resultados de Difracción de Rayos-X (DRX) del CdS sintetizada utilizando EDTA

El análisis del difractograma DRX de las muestras sintetizadas utilizando EDTA para la formación de CdS se muestran en la **Figura 59**.

Figura 59.

Análisis del difractograma DRX de la muestra CdS sintetizada con el EDTA como agente reductor.



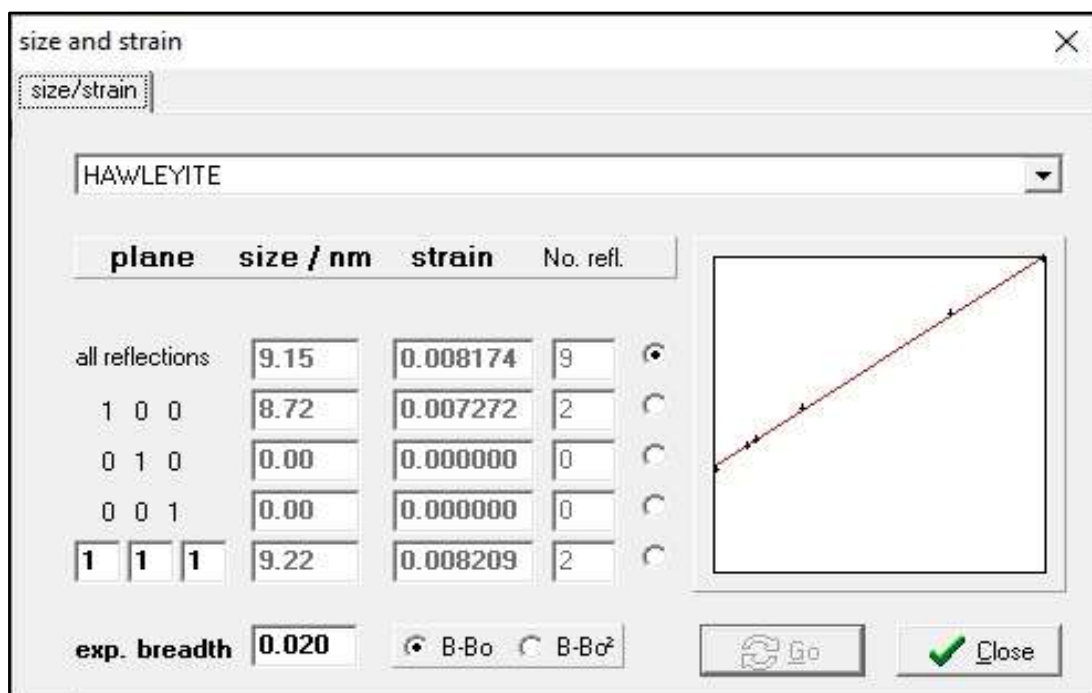
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que a través de la síntesis del sulfuro de cadmio lo que se ha formado es la “Hawleyita” de sistema cúbico y se puede observar que el tamaño de cristalito es pequeño, es decir es un “nanomaterial” y por eso pueden

ser utilizados como “nanoadsorbentes”. El tamaño de cristalito obtenido fue de 9.15 nm usando el Software PowderCell2.4, el cual se muestra en la **Figura 60**.

Figura 60.

Determinación del tamaño del cristalito del CdS sintetizada con el EDTA.



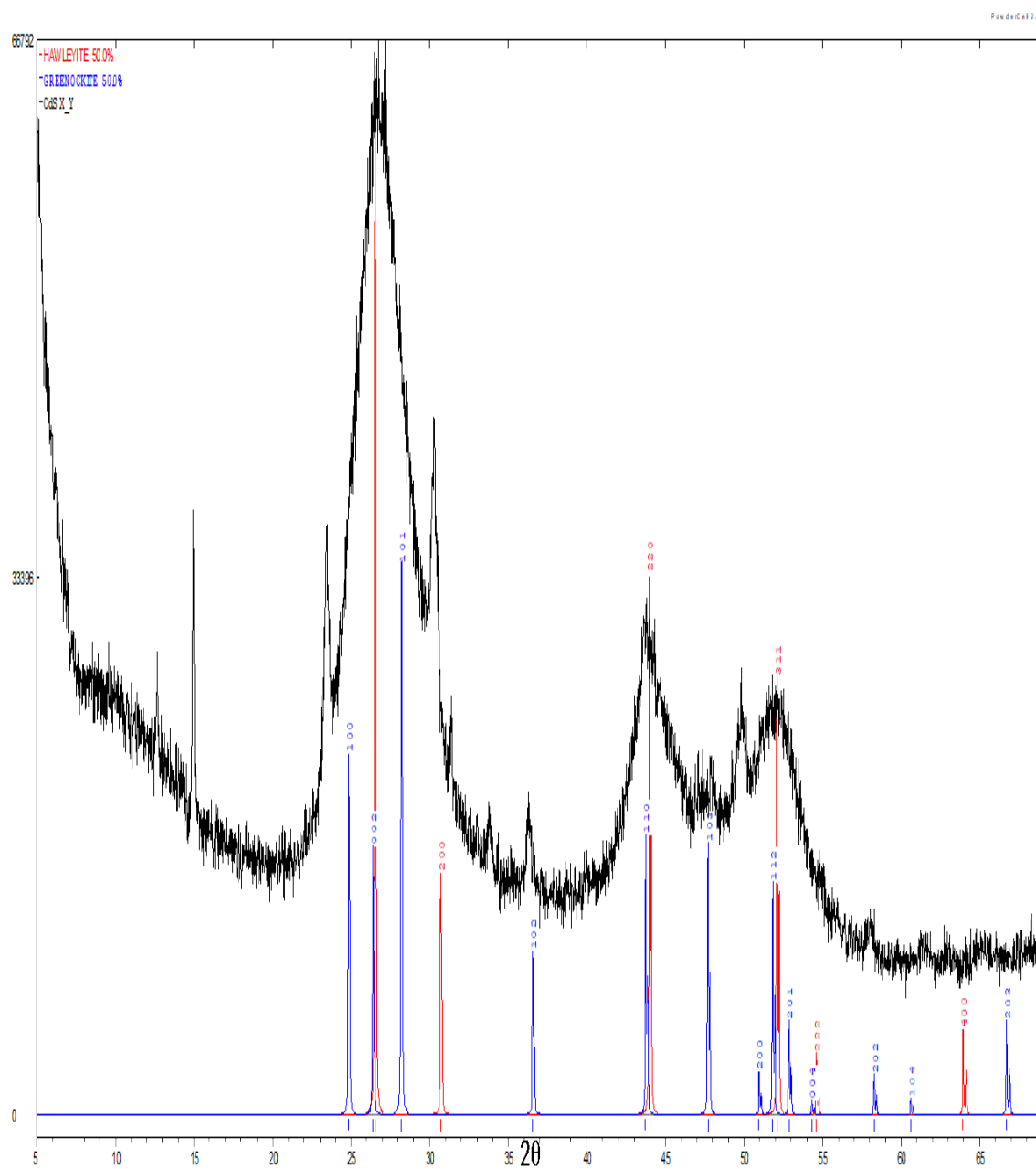
Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Análisis de los resultados de Difracción de Rayos-X (DRX) del CdS sintetizada utilizando Sulfato de Hidracina.

El análisis del difractograma DRX de las muestras sintetizadas utilizando Sulfato de Hidracina para la formación de CdS se muestran en la **Figura 61**. Se puede observar que en la síntesis empleando sulfato de hidracina lo que se han formado son dos tipos de compuestos: “Hawleyita” y la “Greenockita”, también se puede observar que en ambas muestras los tamaños de cristalito son muy pequeños, es decir son “nanomateriales” y por eso pueden ser utilizados como nanoadsorbentes. El tamaño de cristalito de la Greenockita fue de 9.17 nm y de la Hawleyita fue de 9.13nm los cuales fueron obtenidos usando el Software PowderCell2.4.

Figura 61.

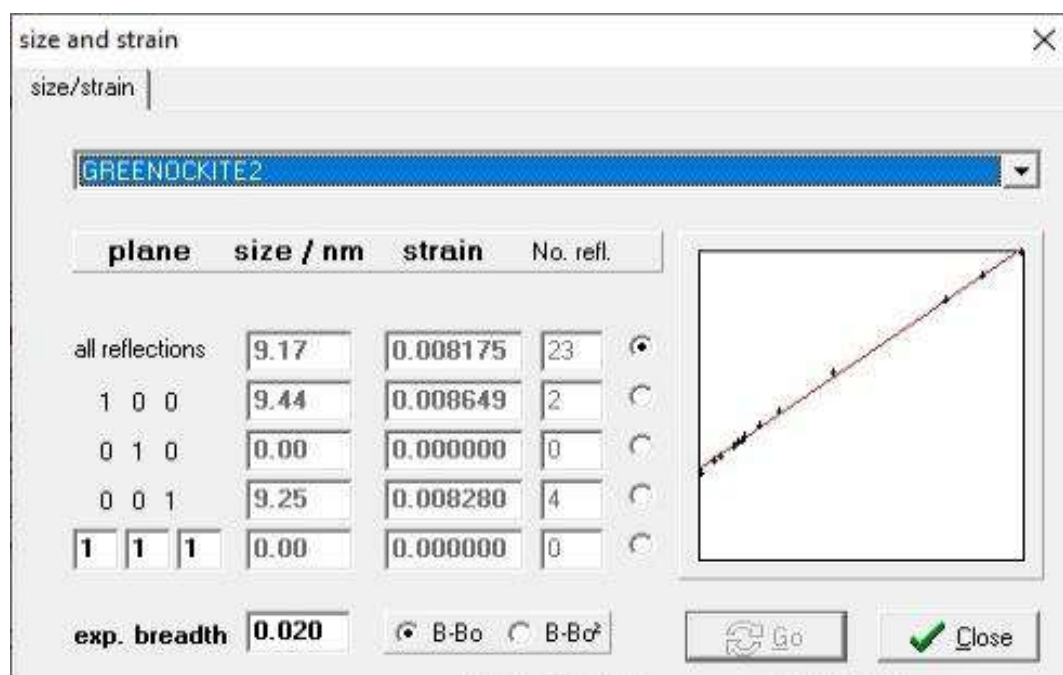
Análisis del difractograma DRX de la muestra CdS sintetizada con el Sulfato de Hidracina como agente reductor.



Fuente: Elaboración propia

Figura 62

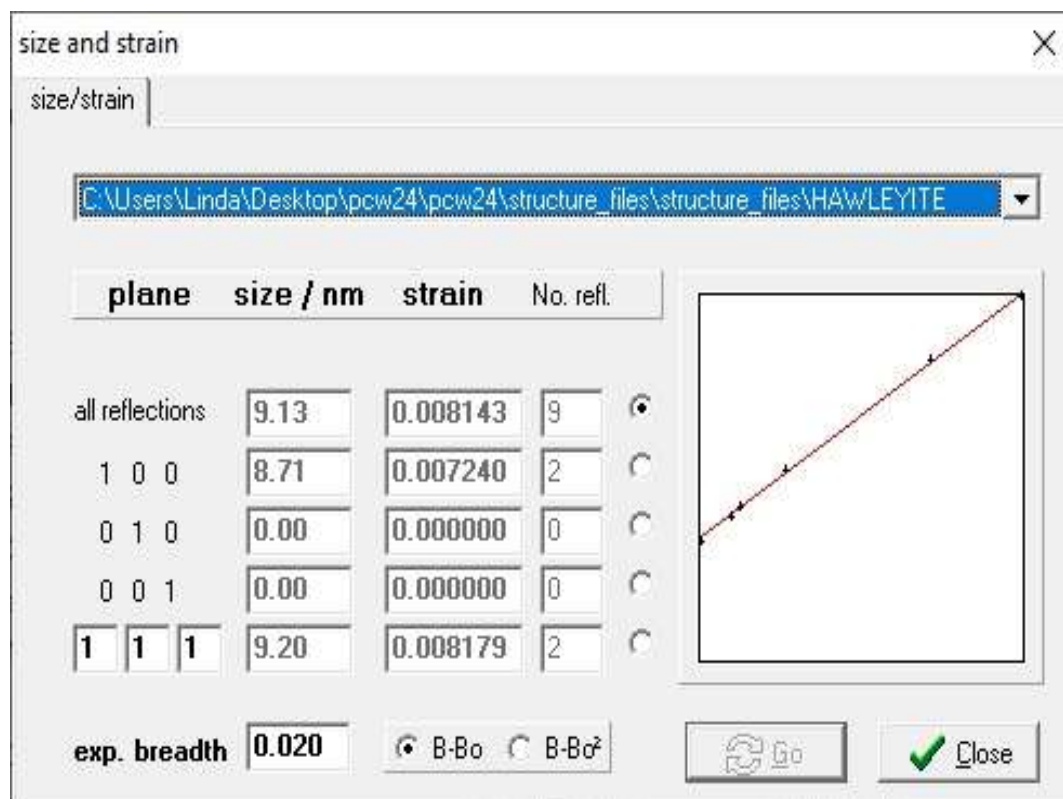
Determinación del tamaño del cristalito del CdS sintetizado que es Greenockita.



Fuente: Elaboración propia

Figura 63.

Determinación del tamaño del cristalito del CdS que es la Hawleyita.



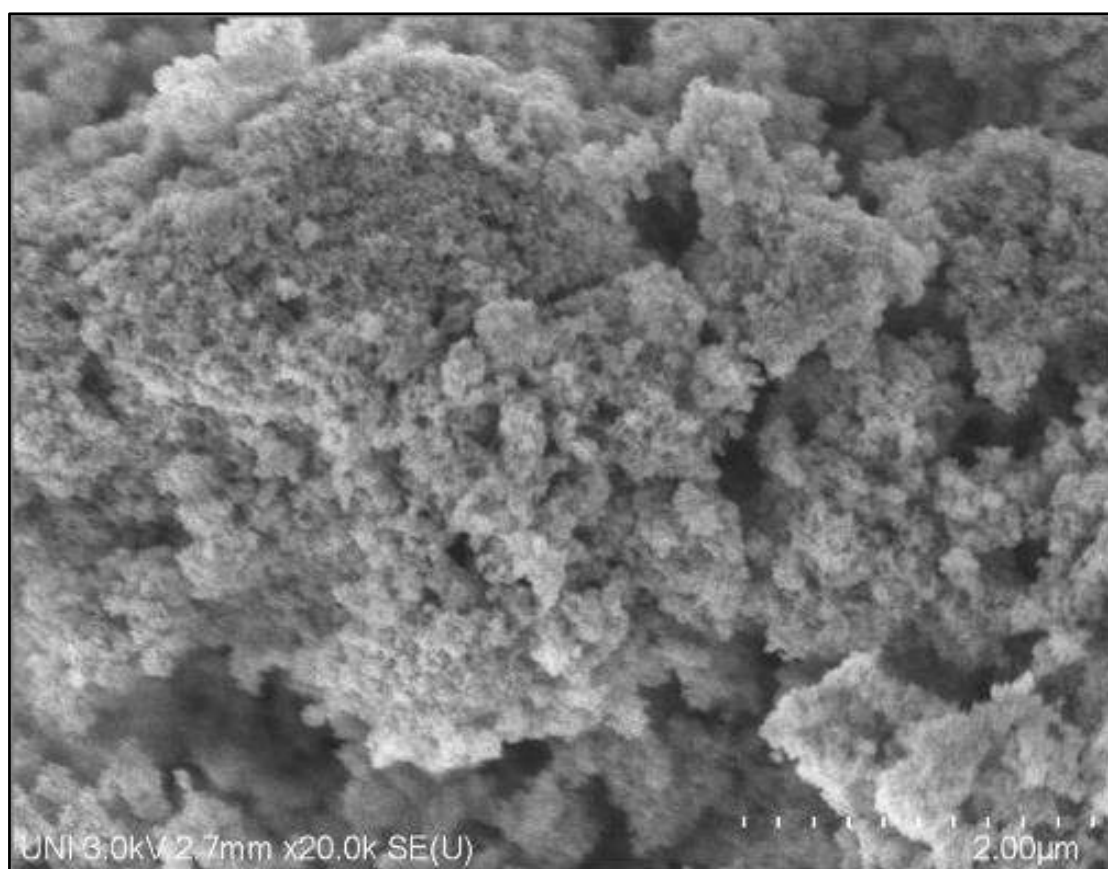
Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Análisis de los resultados de la Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) del CdS sintetizado.

De las imágenes obtenidas por Microscopía Electrónica de Barrido a diferentes magnificaciones se puede observar que la muestra de CdS sintetizada corresponde a tamaños de partículas bien pequeñas y aglomeradas, tal como se muestra en la **Figura 64**, y **Figura 65** y **Figura 66** que corresponden a magnificaciones de 20,000; 100,000 y 200,000 aumentos, respectivamente. Por tanto, se puede concluir que las muestras de CdS sintetizadas tienen tamaño similar a la de un cristalito, es decir que el sulfuro de cadmio sintetizado por ruta química es “nanopartícula”, por tener tamaño de partícula menor que 100 nanómetros, es decir tamaños de partícula por ejemplo de 13.27nm y 29.57nm determinados usando el Software ImageJ en la **Figura 66**.

Figura 64.

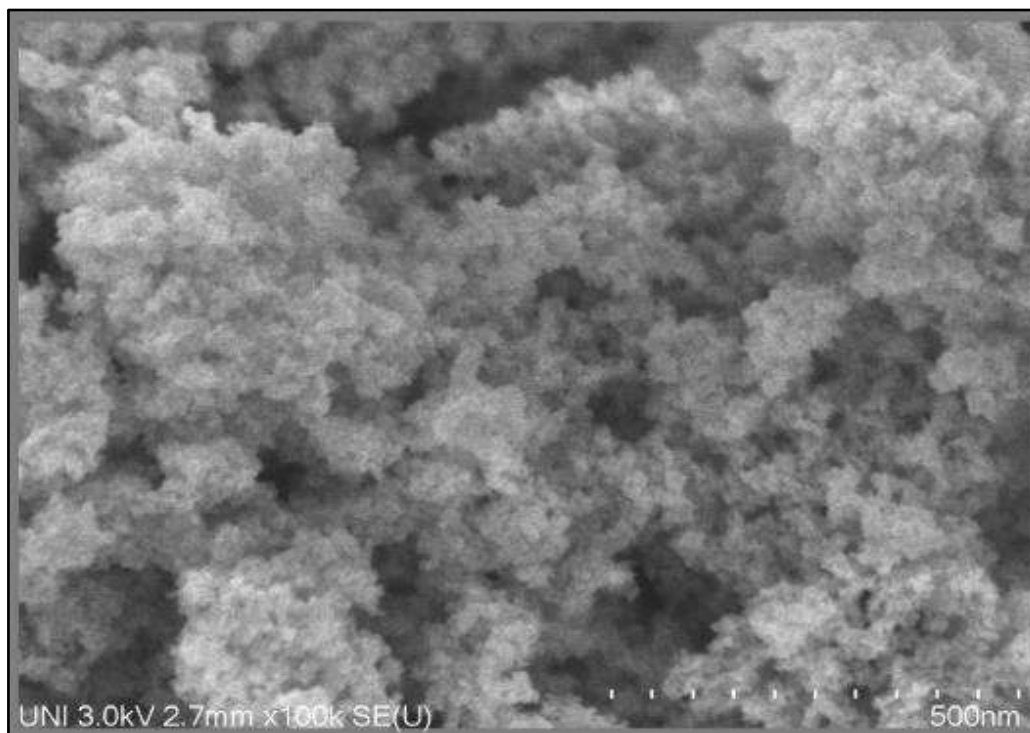
Micrografía por Microscopía Electrónica de Barrido, SEM de la muestra de CdS, Hawleyita, a 20,000 aumentos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 65.

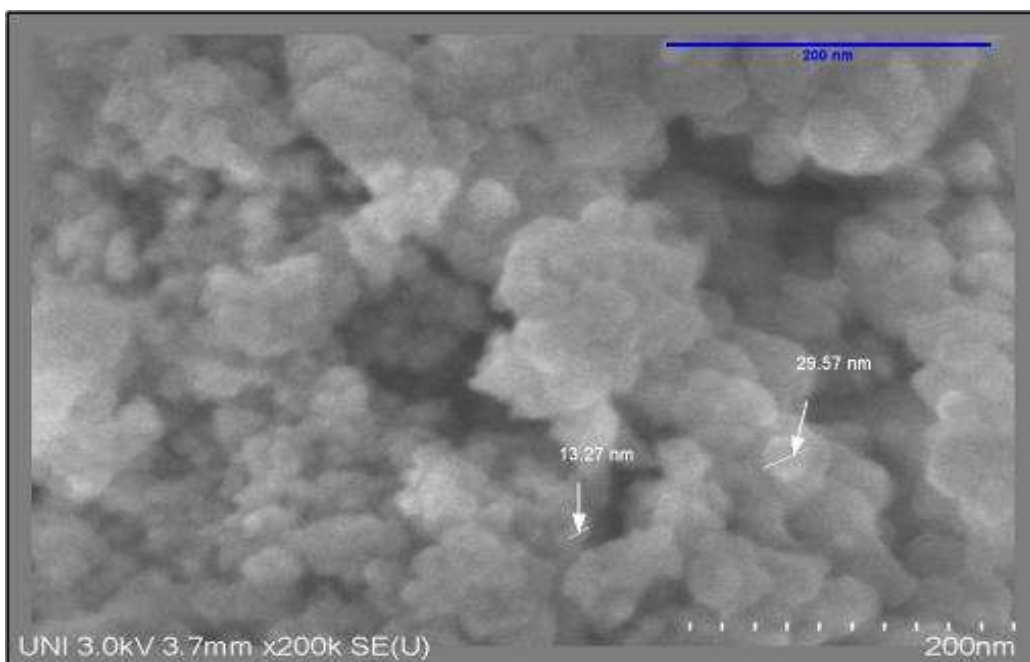
Micrografía por Microscopia Electrónica de Barrido, SEM de la muestra de CdS, Hawleyita, a 100,000 aumentos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 66.

Micrografía por Microscopia Electrónica de Barrido, SEM de la muestra de CdS, Hawleyita, a 200,000 aumentos y determinación de tamaño de partícula con Software ImageJ.



Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Análisis de los resultados de las pruebas de Análisis elemental mediante EDS, en el Microscopio Electrónico de Barrido.

a) Sulfuro de Cadmio (CdS) sintetizado, con EDTA.

De los resultados indicados en la Tabla 4.1 se puede concluir que se logró sintetizar el Sulfuro de Cadmio, es decir hay presencia de cadmio, Cd, y azufre, S. Los otros elementos que figuran en la Tabla 4.1, como el aluminio y el oxígeno, se deben a la porta muestra, y el carbono presente en cinta donde se coloca la muestra para ser analizada en el Microscopio Electrónico de Barrido, SEM. En la Figura 67 se puede observar la imagen de los elementos a través del EDS, de la muestra de CdS sintetizada con EDTA.

Tabla 6.

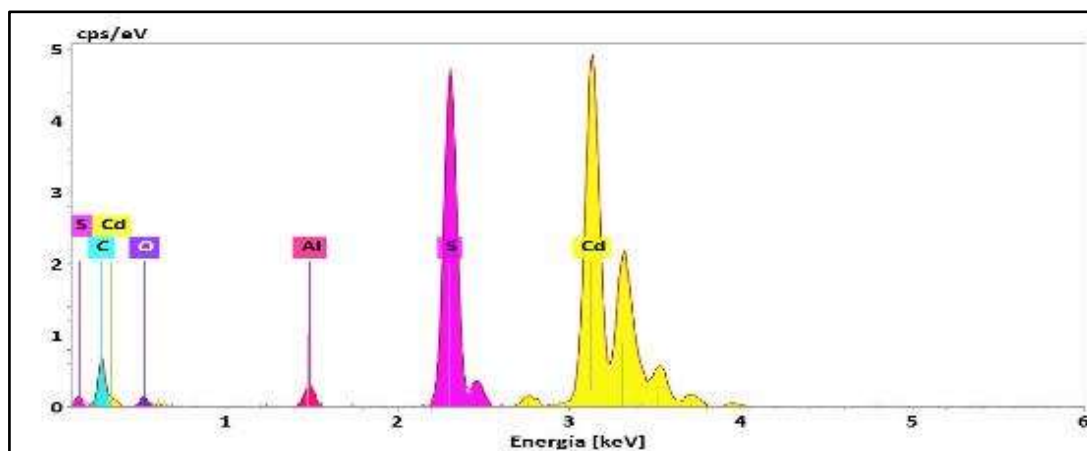
Resultados de las pruebas de Análisis elemental mediante EDS, en el Microscopio Electrónico de Barrido, de la muestra de CdS sintetizada con EDTA.

Elemento	At.	Netto	Mass	Mass	Atom	Abs. Error	Rel. Error (%)
Carbono	6	2657	12.32	11.49	40.29	1.74	14.08
Oxígeno	8	620	3.60	3.35	8.83	0.67	18.73
Aluminio	13	1736	1.38	1.28	2.00	0.09	6.59
Azufre	16	35100	19.95	18.60	24.43	0.74	3.70
Cadmio	48	68112	70.01	65.28	24.46	2.16	3.08
		Sum	107.26	100.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia

Figura 67.

Imagen Elemental del EDS, de la muestra de CdS sintetizada con EDTA.



Fuente: Elaboración propia

b) Síntesis del CdS, con Sulfato de Hidracina.

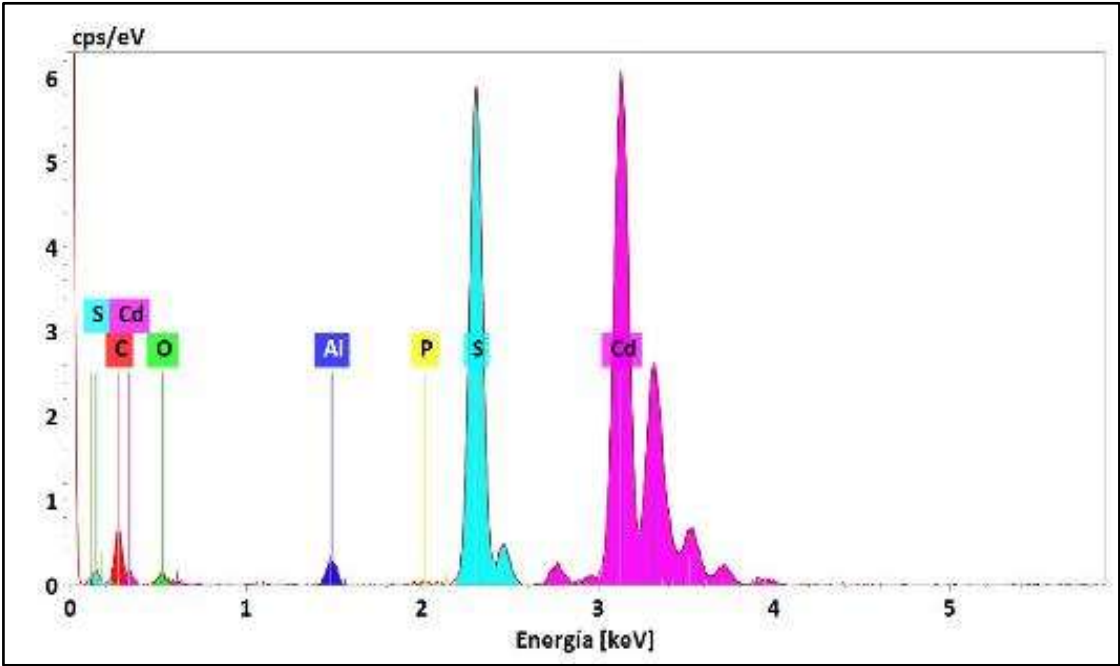
De los resultados indicados en la **Tabla 4.2** se puede concluir que se logró sintetizar el Sulfuro de Cadmio. Los otros elementos que figuran en la tabla, como el Carbono, el Aluminio y el oxígeno, tienen valores considerables, pero mínimos con respecto a los valores obtenidos de Cadmio y Azufre.

Tabla 7.
Resultados de las pruebas de Análisis elemental mediante EDS, en el Microscopio Electrónico de Barrido, de la muestra de CdS sintetizada con Sulfato de Hidracina.

Elemento	At.	Netto	Mass	Mass	Atom	Abs. Error	Rel. Error (%)
Carbono	6	2722	10.02	9.38	40.29	1.74	14.08
Fósforo	15	216	0.10	0.10			
Aluminio	13	1855	1.09	1.02	2.00	0.09	6.59
Azufre	16	48074	21.13	19.79	24.43	0.74	3.70
Cadmio	48	90152	71.39	66.87	24.46	2.16	3.08
Oxígeno	8	663	3.03	2.84	8.83	0.67	18.73
Sum			106.76	100.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia

Figura 68.
Imagen Elemental del EDS, de la muestra de CdS sintetizada con Sulfato de Hidracina.



Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Análisis de los resultados obtenidos de los Ensayos de remoción con CdS sintetizado con EDTA.

Los resultados de la remoción de cobre de la muestra del espesador de mina, empleando el Sulfuro de Cadmio (CdS) sintetizado con EDTA, son mostrados en la **Tabla 8**.

Tabla 8.

Resultados de laboratorio – Aplicación de CdS para la remoción de Cu y Pb en la Muestra del Espesador

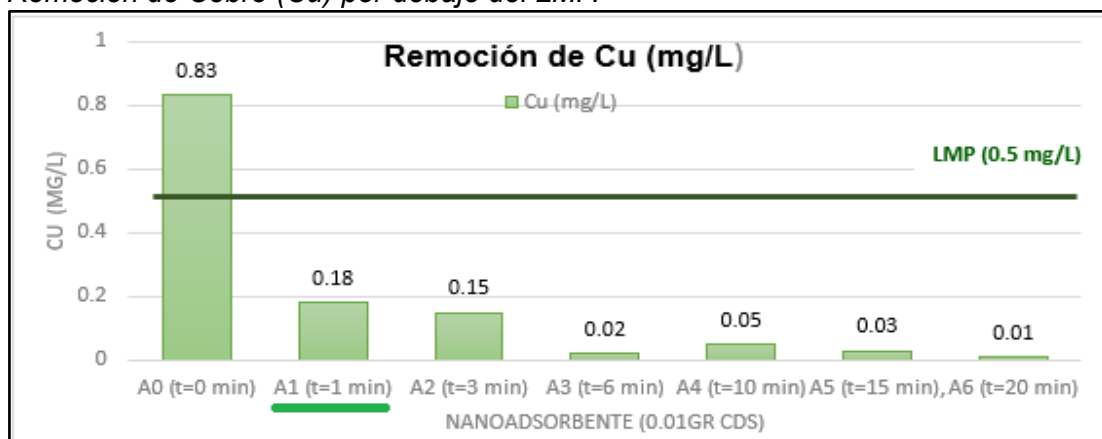
N° de muestra	Nanoadsorbentes (CdS- EDTA)	Pb (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)
1	A0 (t=0 min), 0.01gr CdS	1.18	0.83	0.173
2	A1 (t=1 min), 0.01gr CdS	0.78	0.18	0.156
3	A2 (t=3 min), 0.01gr CdS	0.49	0.15	0.069
4	A3 (t=6 min), 0.01gr CdS	0.15	0.02	0.060
5	A4 (t=10 min), 0.01gr CdS	0.10	0.05	0.043
6	A5 (t=15 min), 0.01gr CdS	0.07	0.03	0.026
7	A6 (t=20 min), 0.01gr CdS	0.02	0.01	0.013

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que las nanopartículas de CdS logran remover tanto al Cu, Pb y Zn en corto tiempo, logrando una remoción de Cu por debajo del LMP (0.5 mg/L), en tan solo 1 min, como se muestra en la **Figura 69**.

Figura 69.

Remoción de Cobre (Cu) por debajo del LMP.



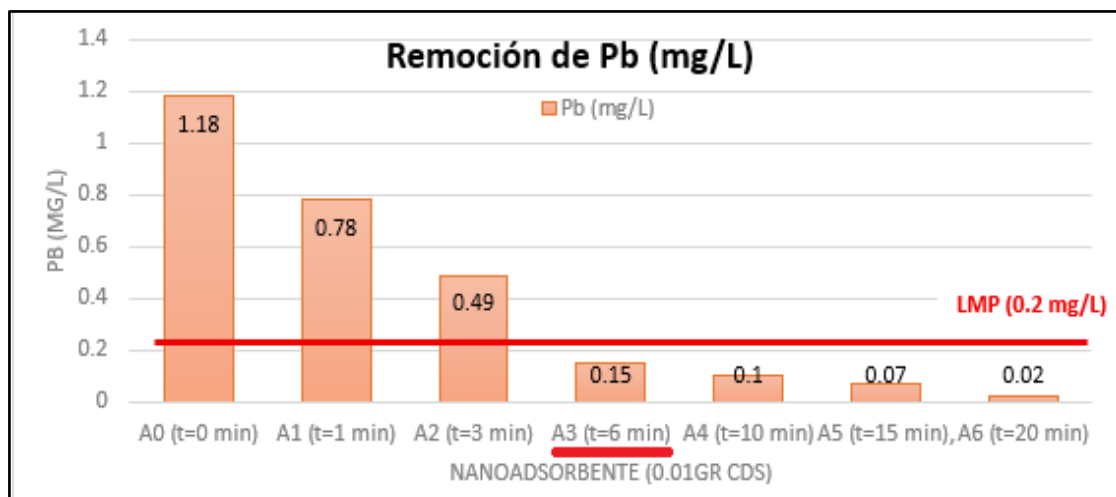
Nota: LMP (0.5 mg/L): Límites Máximos Permisibles (LMP) de Cu, para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (D.S. N°010-2010-MINAM).

Fuente: Elaboración propia

Además, en la **Figura 70**, se aprecia que las nanopartículas de CdS logran remover Plomo (Pb) por debajo del LMP (0.2 mg/L), en 6 min. El contenido del Zn inicial está por debajo de los LMP permisibles (1.5 mg/L).

Figura 70.

Remoción de Plomo (Pb) por debajo del LMP.



Nota: LMP (0.2 mg/L): Límites Máximos Permisibles (LMP) de Pb, para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (D.S. N°010-2010-MINAM).

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 9** se puede observar los porcentajes (%) de remoción de Cu, donde se alcanza un 98.79 %, remoción de Pb 98.30% y remoción de Zn de 92.49% utilizando 0.01 gr de CdS en 25 mL de efluente acuoso con pH=7.1 y con duración máxima de tiempo de 20 min en la Plancha con Agitador Magnético.

Tabla 9.

Porcentaje (%) de Remoción de Cu, Pb y Zn en la Muestra del Espesador a pH 7.1

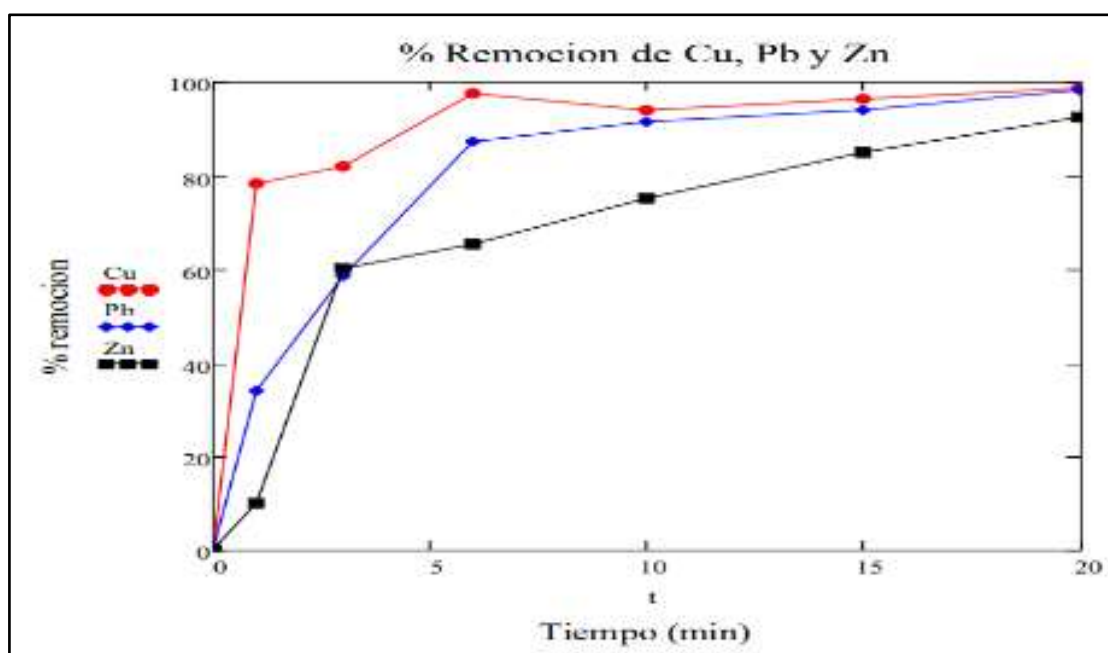
Efluente Acuoso	CdS 0.01gr Tiempo	% Remoción de Cu	% Remoción de Pb	% Remoción de Zn
A0	0 min	-----	-----	-----
A1	1 min	78.31	33.89	9.83
A2	3 min	81.93	58.47	60.12
A3	6 min	97.59	87.29	65.32
A4	10 min	93.98	91.53	75.14
A5	15 min	96.39	94.07	84.97
A6	20 min	98.79	98.30	92.49

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura N° 71** se visualiza la gráfica de remoción de Cu, Pb y Zn. Se puede observar la remoción de Cu de 98.79 %, remoción de Pb de 98.30% y remoción de Zn de 92.49%, es decir el CdS es un buen nanoadsorbente de efluentes acuosos industriales.

Figura 71.

Gráfica del porcentaje (%) de remoción de Cu, Pb y Zn de la muestra Espesador empleando Cu sintetizado.



Fuente: Elaboración propia

4.2 Discusión e interpretación de los Resultados.

- Como primer objetivo específico, se consideró sintetizar el Sulfuro de Cadmio (CdS) empleando el método de precipitación química, basado en la eficacia del método utilizado por Ghasempour, *et al.* (2023), quien menciona que dicho método es de fácil síntesis, poco tiempo de reacción y optima pureza.
- Para el presente trabajo de investigación, se realizó la síntesis de nanopartículas de sulfuro de cadmio, utilizando como precursores al Sulfato de Cadmio (CdSO_4) y el Sulfuro de Sodio (Na_2S), también se realizó la síntesis de nanopartículas de sulfuro de cadmio, utilizando como precursores al Cloruro de Cadmio monohidratado ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) y el Sulfuro de Sodio (Na_2S).

- Los precursores utilizados coinciden con la investigación propuesta de Bhattarai, B; que utilizó precursores como el cloruro de cadmio (CdCl_2) y el sulfuro de sodio (Na_2S), para la síntesis de Sulfuro de Cadmio (CdS).
- De manera similar, también se consideró el método de precipitación química, propuesto por Devi, R., *et al.* (2015); para la síntesis de Sulfuro de Cadmio (CdS), que varía las temperaturas en un rango de 20° a 80°C . La variación de temperatura influye en el tamaño de partículas, en la brecha de banda y en la morfología.
- Para el segundo objetivo específico, se consideró realizar la caracterización microestructural de la muestra sintetizada de Sulfuro de Cadmio (CdS), según el autor Devi, R., *et al.* (2015), para la caracterización de las nanopartículas se realiza la Difracción de Rayos-X (DRX), la Espectroscopía UV-visible, espectroscopia de difracción de Rayos – X en polvo (XRD), Microscopia Electrónica de Barrido (SEM), entre otros.
- La caracterización microestructural utilizada para el presente trabajo de investigación fue la de Difracción de Rayos-X (DRX), cuyos ensayos de la síntesis de Sulfuro de Cadmio (CdS), formaron dos tipos de compuestos: Hawleyita empleando EDTA y Grennokitita con Hawleyita empleando Sulfato de Hidracina, y los tamaños del cristalito tanto de la Hawleyita y la Grennokitita fueron menores a 10nm.
- También se realizó la Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) el cual confirmó que la Hawleyita es una nanopartícula, por tener de tamaño partículas menores a 100nm, además el análisis por EDS (acoplado del SEM) mostró la presencia de Cadmio y Azufre en la formación del CdS .
- Por lo que podemos indicar que la caracterización microestructural utilizada para el presente trabajo de investigación coincide parcialmente con la caracterización microestructural utilizada por MUSTAPHA, L, que requirió utilizar UV-visible, DRX, SEM, entre otros, para caracterizar la nanopartícula de MgO .
- En el tercer objetivo específico, se consideró realizar el análisis químico por adsorción atómica de la muestra de efluente acuoso industrial para identificar el contenido de Cu, Zn y Pb, el cual según la página Orozcolab.com, la técnica de espectrofotometría de absorción atómica se

emplea en el análisis químico para medir la cantidad de elementos metálicos en una muestra. Para la presente investigación, se obtuvo un contenido inicial de 1.18 mg/L de Pb, 0.83 mg/L de Cu, y 0.173 mg/L de Zn. El contenido de Zn inicial está por debajo de los LMP permisibles.

- Finalmente, en el cuarto objetivo específico, se consideró realizar las pruebas de remoción de Cu y Pb en efluentes acuosos empleando Sulfuro de Cadmio (CdS) sintetizada, utilizando el método de adsorción. Según el autor Emenike, *et al.* (2022), la adsorción mediante distintos adsorbentes se considera el método más eficaz para tratar las aguas residuales contaminadas con metales pesados, como los iones de Cobre (Cu) y Plomo (Pb).
- Para el presente trabajo de investigación, con un tiempo de 20 min se logró altos porcentajes de remoción de metales pesados presentes en efluente acuoso, donde se alcanzó una remoción de Cu de 98.79 %, remoción de Pb de 98.30% y remoción de Zn de 92.49%, el cual coincide con lo propuesto por GOLKHAN, S (2017). el cual utilizó 100mg/L de nanopartículas de sulfuro de cadmio sintetizadas, para la remoción de Pb(II) y Cu(II) en soluciones acuosas, cuya eficiencia de remoción fue superior a 98% en ambos casos.

4.3 Contratación de la Hipótesis

- El presente estudio se enmarca dentro de una fase exploratoria, orientada a evaluar de manera preliminar la capacidad de remoción del nanoadsorbente Sulfuro de Cadmio (CdS) frente al efluente acuoso con contenido de Cobre (Cu) y Plomo (Pb). En este contexto, el objetivo principal fue disminuir el contenido de Cu y Pb, presente en el efluente acuoso empleando CdS. Por ello, se priorizó la evaluación de distintas condiciones experimentales como variaciones de CdS, y tiempo de contacto, sin considerar otras variaciones. Si bien esta estrategia limita el análisis estadístico inferencial, se considera adecuada como primera aproximación al sistema, permitiendo sentar las bases para estudios posteriores más detallados y con diseño replicado.
- A pesar de que no se realizaron repeticiones experimentales independientes, se incorporaron medidas de control de calidad analítica para reducir el impacto de la variabilidad instrumental y técnica. Durante el

ensayo, se consideró una muestra en blanco, el cual también formó parte del análisis de Espectrometría de Absorción Atómica, para determinar el contenido inicial y final de Cu y Pb de cada muestra.

Considerando que, con dicho ensayo, se demostró la hipótesis planteada, estas acciones permitieron asegurar la precisión y consistencia de los datos generados, compensando en parte la ausencia de réplicas experimentales completas.

Además, todas las mediciones se realizaron bajo condiciones de operación estandarizadas, y por un único operador, para minimizar el error asociado a la manipulación.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con los resultados del Análisis por Difracción de Rayos-X (DRX), los ensayos de síntesis de Sulfuro de Cadmio, CdS, formaron dos tipos de compuestos: **Hawleyita** empleando EDTA y **Grennokitita con Hawleyita** empleando sulfato de hidracina, y los tamaños de cristalito tanto de la Hawleyita y la Grennokitita eran menores a 10nm, es por eso que son considerados como “nanomateriales”.
2. La Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) confirmó que la Hawleyita es una “nanopartícula” por tener tamaños de partículas menores a 100nm. Mientras que el Análisis por EDS (acoplado al MEB) mostró la presencia de Cadmio y Azufre es decir formación de Sulfuro de Cadmio, CdS.
3. El uso de la Hawleyita como “nanoabsorbente” favoreció la remoción de Cobre, Plomo y Zinc presentes en el efluente acuoso que tenía un pH=7.1. Con un tiempo de 20 min se logró altos porcentajes de remoción de metales pesados presentes en efluente acuoso, donde se alcanzó una remoción de Cu de 98.79 %, remoción de Pb de 98.30% y remoción de Zn de 92.49%.
4. Finalmente, se puede decir que el proyecto de investigación de esta tesis confirma que se logra validar la hipótesis, es decir que el Sulfuro de Cadmio (CdS) remueve el cobre y plomo presentes en efluentes mineros.

RECOMENDACIONES

- Adquirir más efluentes acuosos presentes en compañías mineras, para poder seguir valorando la remoción de otros tipos de metales pesados presentes en efluentes mineros, empleando nanopartículas de sulfuro de cadmio.
- Realizar otras pruebas de remoción de efluentes acuosos que contengan diferentes tipos de pH, es decir ácidos o básicos, para poder mejorar la parte ambiental.
- Aumentar el tiempo de contacto, para corroborar si es posible llegar al 100 % de remoción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Al-Baldawi, I. A., Yasin, S. R., Jasim, S. S., Abdullah, S. R. S., & Almansoor, A. F.** (2022). Removal of copper by *Azolla filiculoides* and *Lemna minor*: phytoremediation potential, adsorption kinetics and isotherms. *Heliyon*, 8(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11456>

- **Arbabi, M., & Golshani, N.** (2016). Removal of copper ions Cu (II) from industrial wastewater: A review of removal methods. *Epidemiology and Health System Journal*, 3(3), 283-293.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:52219731>

- **Arpita Singh, Vilas A. Chavan, Ariya P, BVSS Udaynadh, Erra Adithi** (2024), Nanomaterial Characterization Techniques, Futuristic Trends in Chemical, Material Sciences & Nano Technology, Volume 3, Book 13, Part 1, Chapter 2. <https://www.doi.org/10.58532/V3BECS13P1CH2>

- **Bhargav, S. S., & Prabha, I.** (2013). Removal of arsenic and copper metals from contaminated water using iron (III) oxide nanoparticle. *Int. J. Chem. Chem. Eng*, 2, 107-112.
https://www.ripublication.com/ijcce_spl/ijccev3n2spl_12.pdf

- **Bhattarai, B. R., Regmi, A., & Gautam, S. K.** (2019, July). Cadmium sulfide nanoparticles: synthesis and characterization. In *2019 International Conference on Computer, Communication, Chemical, Materials and Electronic Engineering (IC4ME2)* (pp. 1-4). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/IC4ME247184.2019.9036654>

- **Borja, J. M. B., & Oviedo, B. S. R.** (2020). Nanomateriales: métodos de síntesis. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 5(8), 426-445.
[Nanomateriales: métodos de síntesis - Dialnet](#)

- **Carbotecnia** (15 de Julio de 2024). Información obtenida de: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/cobre-en-el-agua/>

- **Camargo Colquechagua, N. O.** (2019). Reducción de cobre de efluentes mineros mediante el método redox en la provincia de Lurín–Lima–2018. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/6923>

- **Caviedes Rubio, D. I., Muñoz Calderón, R. A., Perdomo Gualtero, A., Rodríguez Acosta, D., & Sandoval Rojas, I. J.** (2015). Treatments for removal of heavy metals commonly found in industrial wastewater. A review. *Revista de Ingeniería y Región*, 13(1), 73-90. <https://doi.org/10.25054/22161325.710>

- **Cedeño Zambrano, B. I., & Vásquez Vera, A. J.** (2024). *Eficiencia de bioadsorción de la cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) en la remoción de plomo y aluminio del agua residual de la lubricadora “LA SIN PAR”* (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL). <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2353>

- **Chávez-Lizárraga, G. A.** (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, Ventajas y Desventajas. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(1), 52-61. DOI:[10.36610/j.jsars.2018.090100052](https://doi.org/10.36610/j.jsars.2018.090100052)

- **Dabhane, H., Ghotekar, S., Tambade, P., Pansambal, S., Murthy, H. A., Oza, R., & Medhane, V.** (2021). A review on environmentally benevolent synthesis of CdS nanoparticle and their applications. *Environmental chemistry and ecotoxicology*, 3, 209-219. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2021.06.002>

- **Dalei, K.** (2014). *Synthesis and characterization of cadmium sulphide nanoparticles and its utilization in removal of cadmium from aqueous solution* (Doctoral dissertation). [e-55.pdf](#)

- **Devi, R. A., Latha, M., Velumani, S., Oza, G., Reyes-Figueroa, P., Rohini, M., ... & Yi, J.** (2015). Synthesis and characterization of cadmium sulfide nanoparticles by chemical precipitation method. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 15(11), 8434-8439.
<https://doi.org/10.1166/jnn.2015.11472>

- **Emenike, E. C., Adeniyi, A. G., Omuku, P. E., Okwu, K. C., & Iwuozor, K. O.** (2022). Recent advances in nano-adsorbents for the sequestration of copper from water. *Journal of Water Process Engineering*, 47, 102715.
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102715>

- **España Chamorro, J. K.** (2022). Remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/12493>

- **Fu, F., & Wang, Q.** (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. *Journal of environmental management*, 92(3), 407-418.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011>

- **Ghasempour, A., Dehghan, H., Ataee, M., Chen, B., Zhao, Z., Sedighi, M., ... & Shahbazi, M. A.** (2023). Cadmium sulfide nanoparticles: preparation, characterization, and biomedical applications. *Molecules*, 28(9), 3857.
<https://doi.org/10.3390/molecules28093857>

- **Golkhah, S., ZAVVAR, M. H., Shirkhanloo, H., & Khaligh, A.** (2017). Removal of Pb (II) and Cu (II) Ions from aqueous solutions by cadmium sulfide Nanoparticles. sid.ir/paper/300103/en#downloadbottom

- **Hernandez Sampieri, R.** (2014). Metodología de la investigación. Sexta Edición. Mc Graw Hill. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>

- **Hullavarad, N. V., Hullavarad, S. S., & Karulkar, P. C.** (2008). Cadmium sulphide (CdS) nanotechnology: synthesis and applications. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 8(7), 3272-3299.
<https://doi.org/10.1166/jnn.2008.145>

- **Ighalo, J. O., Iwuozor, K. O., Igwegbe, C. A., & Adeniyi, A. G.** (2021). Verification of pore size effect on aqueous-phase adsorption kinetics: A case study of methylene blue. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 626, 127119.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127119>

- **International Copper Association** (10 de Agosto de 2024). El cobre en el medio ambiente. <https://internationalcopper.org/es/sustainable-copper/about-copper/copper-in-the-environment/>

- **International Union of pure and Applied Chemistry** (03 de Octubre de 2024). IUPAC. Sustainable Digital Standars. <https://iupac.org/>

- **Jadidian, R., Parham, H., Haghtalab, S., & Asrarian, R.** (2014). Removal of copper from industrial water and wastewater using magnetic iron oxide nanoparticles modified with benzotriazole. *Advanced Materials Research*, 829, 742-746.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.829.742>

- **Krishna, Y. S., Sandhya, G., & Babu, R. R.** (2018). Removal of heavy metals Pb (II), Cd (II) and Cu (II) from waste waters using synthesized chromium doped nickel oxide nano particles. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 32(2), 225-238.
<https://dx.doi.org/10.4314/bcse.v32i2.4>

- **Lazo Ramírez, D. A., & Mendez Reyes, J. L.** (2024). Disminución de Pb (II) y Cd (II) en aguas del río El Vado usando cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) como bioadsorbente.
<https://hdl.handle.net/20.500.14414/22590>

- **LENNTECH** (12 de noviembre del 2024). Water Treatment Solutions.
<https://www.lennotech.es/periodica/elementos/pb.htm>

- **Loudhaief, N., Labiadh, H., Hannachi, E., Zouaoui, M., & Salem, M. B.** (2018). Synthesis of CdS nanoparticles by hydrothermal method and their effects on the electrical properties of Bi-based superconductors. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 31, 2305-2312.
<https://doi.org/10.1007/s10948-017-4496-4>

- **Machacuay Yantas, S. M.** (2020). Adsorción de plomo (II) con carbón activado a partir de semillas de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en la laguna Huascacocha, Yauli, Junín-2020.
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/9966>

- **Majid, A., & Bibi, M.** (2018). Cadmium based II-VI semiconducting nanomaterials. *Gewerbestrasse*, 11, 6330. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68753-7>

- **Mustapha, L. S., Jacob-Oricha, S. O., Yahya, M. D., Lau, S. Y., Yusuff, A. S., & Obayomi, K. S.** (2024). Effective removal of Cr (VI) and Pb (II) ions from mining wastewater using eco-friendly synthesized magnesium oxide nanoparticles incorporated rice husk ash. *Environmental Advances*, 15, 100507. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100507>

- **Paras, F.,** (2019). Semiconducting Properties of CdS, CuS₂, ZnO y PbS.
https://www.researchgate.net/publication/335128573_Semiconducting_Properties_of_CdS_CuS2_ZnO_PbS

- **Orozco Lab** (14 de enero de 2025). Análisis Químico Industrial.
<https://www.oroicolab.com.mx/blog/espectrofotometria-de-absorcion-atomica>

- **QUÍMICA.ES.** (12 de octubre de 2023). QUÍMICA.ES - Enciclopedia. Obtenido de [Cobre](#)

- **Ren, J., Shao, E., Wu, H., & Guan, Y.** (2025). Highly selective and effective copper removal from wastewater by magnetic precipitation separation. *Journal of Water Process Engineering*, 69, 106700.
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106700>.

- **Sharma, P., Rana, D. S., Umar, A., Kumar, R., Chauhan, M. S., & Chauhan, S.** (2016). Synthesis of cadmium sulfide nanosheets for smart photocatalytic and sensing applications. *Ceramics International*, 42(6), 6601-6609.
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.12.151>

- **Sawyer, C. N., McCarty, P. L., Parkin, G. F.** (2001). Química para ing. ambiental. Colombia: McGraw Hill.

- **UDLAP** (10 de octubre 2024) Nanoadsorbentes. Aplicación en remediación ambiental. Innovación y Tecnología.
[https://contexto.udlap.mx/nanoadsorbentes-aplicacion-en-remediacion-ambiental/#:~:text=Esta%20caracter%C3%ADstica%20implica%20que%20los,adsorbato%20\(contaminante\)%20ser%C3%A1%20mayor](https://contexto.udlap.mx/nanoadsorbentes-aplicacion-en-remediacion-ambiental/#:~:text=Esta%20caracter%C3%ADstica%20implica%20que%20los,adsorbato%20(contaminante)%20ser%C3%A1%20mayor).

- **Ulucan-Altuntas, K., Uzun, H. I., Ustundag, C. B., & Debik, E.** (2020). Adsorption of copper ion from aqueous solutions by well-crystallized nanosized hydroxyapatite. *Materials Research Express*, 6(12), 125545.
<https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab66a1>

- **Velusamy, S., Roy, A., Sundaram, S., & Mallick, T. K.** (2022). Employing CdS nanoparticles as an adsorbent for the removal of different dosages of hexavalent Cr (VI) from aqueous solution. *Materials Letters*, 311, 131602.
<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.131602>

- **Wadhawan, S., Jain, A., Nayyar, J., & Mehta, S. K.** (2020). Role of nanomaterials as adsorbents in heavy metal ion removal from waste water: A

- review. *Journal of Water Process Engineering*, 33, 101038.
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101038>
- **Yu, C., Shao, Z., Liu, L., & Hou, H.** (2018). Efficient and selective removal of copper (II) from aqueous solution by a highly stable hydrogen-bonded metal–organic framework. *Crystal Growth & Design*, 18(5), 3082-3088.
<https://doi.org/10.1021/acs.cgd.8b00224>

ANEXOS

- **ANEXO N°1: MATRIZ DE CONSISTENCIA**
- **ANEXO N°2: RESULTADOS DE LABORATORIO**
- **ANEXO N°3: CURRICULUM VITAE**

ANEXO N°1:
MATRIZ DE CONSISTENCIA

“REMOCIÓN DE COBRE Y PLOMO DE EFLUENTES INDUSTRIALES UTILIZANDO SULFURO DE CADMIO COMO NANOADSORBENTE”

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	DISEÑO METODOLÓGICO
<u>PROBLEMA GENERAL</u> PG1: ¿La aplicación del CdS, disminuye el contenido de cobre y plomo presente en el efluente acuoso industrial?	<u>OBJETIVO GENERAL</u> OG1: Disminuir el contenido de cobre y plomo presente en el efluente acuoso industrial empleando CdS sintetizada por precipitación química.	<u>HIPÓTESIS GENERAL</u> HG1: El nanoadsorbente de Sulfuro de Cadmio (CdS) sintetizado remueve el cobre y plomo presente en efluentes acuosos industriales.	<u>VARIABLES INDEPENDIENTES: X</u> X1: Caract. químicas del efluente industrial X2: Caract. químicas del nanomaterial (nanomateriales de CdS).	<u>INDICADORES: X</u> Ind X1a: Con. Inic de Cu (mg/L) Ind X1b: Con. Inic de Pb (mg/L) Ind X1c: pH Ind X1d: Sustancia origen (gr). Ind X1e: Tipo de precursor (ml) Ind X1f: Velocidad de mezcla (rpm). Ind X1g: Tiempo de agitación (minutos) Ind X1h: pH requerido para la remoción (u.e) Ind X1i: Tamaño de los nanomateriales (nm).	<u>TIPO DE INVESTIGACIÓN</u> Experimental, Aplicada, Descriptiva, Explicativa <u>Nivel de Investigación</u> Exploratoria, Descriptiva, Explicativa <u>Diseño de la Investigación</u> Experimental, Cuantitativa
<u>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</u> PE1: ¿La síntesis del Sulfuro de Cadmio (CdS) es posible realizando el método de precipitación química? PE2: ¿Realizar la caracterización micro estructural de la muestra sintetizada del Sulfuro de Cadmio (CdS), determina que es un nanomaterial? PE3: ¿Realizar el análisis químico por adsorción atómica del efluente acuoso industrial	<u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u> OE1: Sintetizar el Sulfuro de Cadmio (CdS) empleando el método de precipitación química. OE2: Realizar la caracterización micro estructural de la muestra sintetizada de Sulfuro de Cadmio (CdS). OE3: Realizar el análisis químico por adsorción atómica de la muestra de efluente acuoso industrial	<u>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</u> HE1: El Sulfuro de Cadmio (CdS) se sintetiza empleando el método de precipitación química. HE2: La caracterización micro estructural de la muestra sintetizada determina que el Sulfuro de Cadmio (CdS) es un nanomaterial. HE3: El análisis químico por adsorción atómica del efluente acuoso industrial	<u>VARIABLE DEPENDIENTE: Y</u> Y1.: Eficiencia de remoción de cobre (Cu) Y2.: Eficiencia de remoción de plomo (Pb)	<u>INDICADORES: Y</u> Ind Y1m: Con. final de Cu (mg/L) Ind Y1n: Con. final de Pb (mg/L) Ind Y1o: Porcentaje de remoción (%) $\text{Porcentaje de remoción (\%)} = \left(\frac{\text{Conc. Mn Final}}{\text{Conc. Mn Inicial}} \right) \times 100$	<u>Población</u> – Efluente acuoso industrial (minero), que contiene Cu, Pb y otros metales pesados <u>Muestra</u> – Efluente acuoso industrial (minero), que contiene Cu, Pb y otros metales pesados (3L). – Nanopartícula de CdS sintetizada. <u>Técnicas en recolección.</u> – Toma del pH de la muestra original. – Obtención de nanomateriales de CdS.

determina el contenido de Cu y Pb?	para identificar el contenido de Cu y Pb.	determina el contenido de Cu y Pb.	Ind Y1p : Tiempo de remoción (min).	– Caracterización del efluente acuoso industrial (minero). – Aplicación progresiva de solución en medio acuoso de CdS. – Obtención de la concentración final de Cu y Pb.
PE4: ¿Emplear el CdS sintetizado influye en la disminución del contenido de Cu y Pb en efluentes acuosos?	OE4: Realizar las pruebas de remoción de Cu y Pb en efluentes acuosos empleando Sulfuro de Cadmio (CdS) sintetizada	HE4: El empleo del CdS sintetizado, influye en la disminución del contenido de Cu y Pb en efluentes acuosos.		<u>Materiales</u> – Vasos precipitados de 50 ml y 200mL – Luna de Reloj – Embudo de filtración – Papel de Filtro – Tubos de ensayo – Probeta de 20mL – Matraz de Erlenmeyer <u>Equipos</u> – Balanza Electrónica – Multiagitador electrónico

ANEXO N°2: RESULTADOS DE LABORATORIO

Remoción de Cu, Pb y Zn empleando CdS en Efluentes mineros



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

ANALISIS DE 7 SOLUCIONES POR Cu, Pb y Zn

APOYO TESIS : ORFELINDA AVALO CORTEZ

Recepción de muestras : Lima, 12 de Diciembre del 2023

RESULTADO DEL ANALISIS DE SOLUCIONES

Código	Cu(mg/L)	Pb(mg/L)	Zn(mg/L)
Z-0	0.198	0.843	0.099
Z-1	0.088	0.327	0.066
Z-2	0.049	0.299	0.055
Z-3	0.020	0.280	0.044
Z-4	0.015	0.187	0.043
Z-5	0.011	0.278	0.027
Z-6	0.010	0.093	0.011

Método utilizado: Espectrometría de absorción atómica

Lima, 18 de Diciembre del 2023




MSc. Atila Mendoza Apolaya

Jefe Lab. ESPECTROMETRÍA

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú
 Teléfono: (511) 4824427 , Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245
 e-mail: labespectro@uni.edu.pe

ANEXO N°3:



Ley N°30035
Respositorio Nacional Digital



**UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
INGENIERIA**

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA EN EL PORTAL DEL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL DE LA UNI**

1. DATOS PERSONALES

Apellidos y nombres: Zaly Palacios Egoavil

D.N.I: 41266731

Teléfono casa: -

celular: 949 352 323

Correos electrónicos: salypal@yahoo.es

2. DATOS ACADÉMICOS

Grado académico: Bachiller

Mención: Ingeniería Ambiental

3. DATOS DE LA TESIS

Título:

“Remoción de cobre y plomo de efluentes acuosos empleando sulfuro de cadmio como nanoadsorbente.”

Año de publicación: 2025

A través del presente, autorizo a la Biblioteca Central de la Universidad Nacional de Ingeniería, la publicación electrónica a texto completo en el Repositorio Institucional, el citado título.

Firma:

Fecha de recepción: 02/12/2025

ANEXO N°4: CURRICULUM VITAE

ZALY PALACIOS EGOAVIL

Ingeniera Ambiental

Cel. 949352323

Correo: salypal@yahoo.es



PERFIL PROFESIONAL

Ingeniera Ambiental, colegiada y habilitada con más de 15 años de experiencia profesional en diferentes empresas del sector público y privado, con conocimientos en gestión ambiental, experiencia en elaboración y evaluación de Instrumentos Ambientales para los diferentes sectores del país. Así mismo me considero una persona responsable con la confianza de poder desempeñarme de manera eficaz y eficiente. Tengo capacidad de liderar, y ser adaptable y flexible ante los cambios, soy una persona con actitud dinámica, positiva, con habilidad para planificar organizar y trabajar en equipo.

FORMACION PROFESIONAL

Universidad	Universidad Nacional Agraria La Molina
	Facultad de Ciencias. – Ingeniería Ambiental
Título	Ingeniero Ambiental
N° de Colegiatura:	129573
Universidad	Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad	FIGMM- Facultad de Geología, Minería y Metalurgia.
Especialidad	Maestría en Ciencias con mención en Minería y Medio Ambiente

ESTUDIOS A NIVEL DE POST GRADO

- **Programa de formación: Facilitadoras y empresas – Mentorías Circulares Perú.** PROINNOVATE – GIZ – ANDE – 2025.
- **Curso Especializado en Derecho Ambiental.** PRODUCE - UCSUR – 2025
- **Curso de Análisis de Ciclo de Vida y Aplicación en la medición de la Circularidad.** PRODUCE-AENOR-2025.
- **Programa de formación: Gestión ambiental de procesos industriales en Parques Eco industriales (PEI)** ONUDI – PRODUCE-DEUMAN – 2024

- **Curso Especializado en Economía Circular e Infraestructura de la Calidad. Sector Manufactura.** PRODUCE – INACAL-2024.
- **Diplomado de Especialización en Supervisión en Medio Ambiente.** CENESAM -2022
- **Diplomado de Especialización en Gestión Integral de Residuos Sólidos y Economía Circular.** CENESAM -2020
- **Especialización en Legislación Ambiental Minera – INTE-PUCP-2019**
- **Programa Especializado en Regulación y Fiscalización Ambiental – UPC - 2016**
- **Programa de Profesionalización y/o Especialización en Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental - Universidad Nacional Agraria La Molina – 2010.**
- **Especialización Tratamiento de Aguas Residuales – INTE –PUCP - 2015**
- **Especialización en Seguridad y Salud Ocupacional - Universidad Nacional de Ingeniería – 2012.**
- **Especialización en Minería y Medio Ambiente (Virtual) - FUNIBER- 2012**
- **Programa de Manejo Ambiental en la Industria – TECSUP – 2011.**
- **“Diplomado en Gestión Ambiental y Evaluación del Impacto Ambiental” – CESAP – 2009**

EXPERIENCIA PROFESIONAL

MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN - PRODUCE

- Cargo: Evaluador Ambiental de la DEAM
- Periodo: Enero 2020 – Actualidad
- Funciones:
Revisión de los instrumentos de Gestión ambiental (ITS, EVAP, DAA, PAMA) y/o sus actualizaciones (dentro de las cuales se encuentran entre otros los de naturaleza correctiva, incluida la determinación de las medidas de manejo ambiental a aplicar, valores de comparación, valores de impactos, entre otros aspectos ambientales vinculados a dichas actividades.

SERVICIO NACIONAL DE CERTIFICACIÓN AMBIENTAL PARA LAS INVERSIONES SOSTENIBLES – SENACE:

- Cargo: Especialista en Ingeniería Ambiental
- Periodo: Agosto 2018 – Mayo 2019
- Funciones:
Revisión, evaluación, integración, elaboración de los Estudios Ambientales (EIA, MEIA-d, ITS, EVAP), de los sectores de Transporte, Agricultura y Residuos Sólidos.

MINISTERIO DE SALUD – DIGESA:

- Cargo: Especialista en Salud Ambiental
- Periodo: Noviembre 2015 – Julio 2018
- Funciones:

Evaluación de Estudios Ambientales referente a los proyectos de Relleno Sanitario, Relleno de Seguridad, Plantas de Tratamiento de Residuos, Instalaciones de Comercialización, Hospitales y Centros de Salud.

Evaluación de las solicitudes de EPS-RS, EC-RS.

Evaluación de Registro de Empresas Consultoras para elaboración de estudios del sector Salud.

Vigilancia y supervisión de los proyectos aprobados y de los registros otorgados por DIGESA.

MUNICIPALIDAD DE VILLA MARIA DEL TRIUNFO:

- Cargo: Ing. Ambiental de la Sub Gerencia de Ornato y Medio Ambiente.
- Periodo: Octubre 2013 – Febrero 2014
- Funciones:
Coordinar y dirigir el equipo ambiental, elaboración y ejecución de planes ambientales de residuos sólidos, educación ambiental, monitoreos ambientales, elaboración de programas de incentivos municipales, participación en fiscalización ambiental, ejecución del programa lomas de villa maría, elaboración del plan de fiscalización ambiental 2014, coordinación y exposición de talleres de sensibilización con las diferentes comunidades del distrito.

CONSULTORA ECSA INGENIEROS:

- Cargo: Ing. Ambiental: Responsable del Área de Propuestas
- Periodo: Setiembre 2014 – Octubre 2015
- Funciones:
Elaboración de Estudios de Ambientales (EIAd, EIAsd DIA, EvAP, PMA, etc), referente a los proyectos de puertos y saneamiento.
- Periodo: Setiembre 2011 – Julio 2013
- Funciones:
Elaboración de Propuestas Técnicas y Económicas
Elaboración de Estudios de Ambientales (EIAd, EIAsd DIA, EvAP, PMA, entre otros) para actividades industriales, sector agricultura, carreteras, entre otros.

CONSULTORA ECOFLUIDOS:

- Cargo: Especialista Ambiental
- Periodo: Marzo 2010 – Junio 2011
- Funciones:
Elaboración de Estudios de Ambientales (EIAd, EIAsd DIA, FICAS, entre otros) para, sector saneamiento, agricultura y producción. Monitoreo de Calidad de Aire, Ruido, Agua y Efluentes. Elaboración de informes de monitoreo.

IDIOMAS

- Inglés – Nivel Avanzado - Asociación Cultural Peruana Británica

PROGRAMAS

- Office 365, Arc Gis, Autocad,

ZALY PALACIOS EGOAVIL

Environmental Engineer

Cel. 949352323

Correo: salypal@yahoo.es**ABOUT ME**

Environmental Engineer, registered and qualified with more than 15 years of professional experience in different companies of the public and private sector, with knowledge in environmental management, experience in elaboration and evaluation of Environmental Instruments for the different sectors of the country. I also consider myself a responsible person with the confidence to perform effectively and efficiently. I have the ability to lead, and be adaptable and flexible to changes, I am a person with a dynamic and positive attitude, with the ability to plan, organize and work in a team.

EDUCATION

University	La Molina National Agrarian University Faculty of Sciences. - Environmental Engineering
Degree:	Environmental Engineering
School Degree:	129573
University	National University of Engineering
Faculty	FIGMM- Faculty of Geology, Mining and Metallurgy.
Master	Master of Science with a specialization in Mining and Environment

POSTGRADUATE STUDIES

- Training program: Facilitators and companies – Circular Mentoring Peru. PROINNOVATE – GIZ – ANDE – 2025.
- Specialized Course in Environmental Law. AENOR - UCSUR – 2025.
- Course on Life Cycle Analysis and Application in Circularity Measurement. PRODUCE – AENOR-2025.
- Training Program: Environmental Management of Industrial Processes in Eco Industrial Parks (PEI) UNIDO - PRODUCE-DEUMAN - 2024
- Specialized Course on Circular Economy and Quality Infrastructure. Manufacturing Sector. PRODUCES - INACAL-2024.
- Specialization Diploma in Environmental Supervision. CENESAM -2022

- Specialization Diploma in Integrated Solid Waste Management and Circular Economy. CENESAM -2020
- Specialization in Mining Environmental Legislation - INTE-PUCP-2019
- Specialized Program in Environmental Regulation and Oversight - UPC - 2016
- Professionalization and/or Specialization Program in Quality Management and Environmental Auditing - Universidad Nacional Agraria La Molina - 2010.
- Specialization in Wastewater Treatment - INTE -PUCP - 2015.
- Specialization in Occupational Health and Safety - Universidad Nacional de Ingeniería - 2012.
- Specialization in Mining and Environment (Virtual) - FUNIBER - 2012.
- Environmental Management in Industry Program - TECSUP - 2011.
- Diploma in Environmental Management and Environmental Impact Assessment” - CESAP - 2009.

PROFESSIONAL EXPERIENCE

MINISTRY OF PRODUCTION – PRODUCE

- Position: DEAM Environmental Evaluator
- Period: Enero 2020 - Present
- Duties:
Review of Environmental Management instruments (ITS, EVAP, DAA, PAMA) and/or their updates (within which are among others those of corrective nature, including the determination of environmental management measures to be applied, comparison values, impact values, among other environmental aspects linked to such activities.

NATIONAL SERVICE OF ENVIRONMENTAL CERTIFICATION FOR SUSTAINABLE INVESTMENTS - SENACE:

- Position: Environmental Engineering Specialist
- Period: August 2018 - May 2019
- Functions:
Review, evaluation, integration, elaboration of Environmental Studies (EIA, MEIA-d, ITS, EVAP), of the Transport, Agriculture and Solid Waste sectors.

MINISTRY OF HEALTH - DIGESA:

- Position: Environmental Health Specialist
- Period: November 2015 - July 2018.
- Duties:
Evaluation of Environmental Studies referring to Landfill, Safety Landfill, Waste Treatment Plants, Commercialization Facilities, Hospitals and Health Centers projects.
Evaluation of EPS-RS, EC-RS applications.
Evaluation of the Registry of Consulting Companies for the elaboration of studies in the Health sector.
Monitoring and supervision of approved projects and registrations granted by DIGESA.

MUNICIPALITY OF VILLA MARIA DEL TRIUNFO:

- Position: Environmental Engineer of the Sub Management of Ornament and Environment.
- Period: October 2013 - February 2014
- Functions:
Coordinate and lead the environmental team, development and implementation of environmental plans for solid waste, environmental education, environmental monitoring, development of municipal incentive programs, participation in environmental monitoring, implementation of the program lomas de villa maria, development of environmental monitoring plan 2014, coordination and exposure of awareness workshops with different communities in the district.

CONSULTING FIRM ECSA INGENIEROS:

- Position: Environmental Engineer: Responsible for Proposals Area.
- Period: September 2014 - October 2015
- Functions:
Elaboration of Environmental Studies (EIAd, EIAsd DIA, EvAP, PMA, etc), regarding port and sanitation projects.
- Period: September 2011 - July 2013
- Duties:
Preparation of Technical and Economic Proposals
Preparation of Environmental Studies (EIAd, EIAsd DIA, EvAP, PMA, among others) for industrial activities, agriculture sector, roads, among others.

CONSULTING FIRM ECOFLUIDOS:

- Position: Environmental Specialist
- Period: March 2010 - June 2011
- Duties:
Elaboration of Environmental Studies (EIAd, EIAsd DIA, FICAS, among others) for the sanitation, agriculture and production sectors. Monitoring of Air Quality, Noise, Water and Effluents. Elaboration of monitoring reports.

LANGUAGES

English - Advanced Level - Peruvian-British Cultural Association.

PROGRAMS

Office 365, Arc Gis, Autocad,