



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE ORELLANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

OBTENCIÓN DE UN COAGULANTE NATURAL MODIFICADO
CON NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON MERCURIO

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR: MIGUEL ANGEL VERDEZOTO CARVAJAL

DIRECTOR: Ing. JULIO ROLANDO COELLO CABEZAS MSc.

El Coca – Ecuador

2023

© 2023, Miguel Angel Verdezoto Carvajal

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Miguel Angel Verdezoto Carvajal, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El Coca, 31 de mayo de 2023



Miguel Angel Verdezoto Carvajal

225007153-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **OBTENCIÓN DE UN COAGULANTE NATURAL MODIFICADO CON NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON MERCURIO**, realizado por el señor: **MIGUEL ANGEL VERDEZOTO CARVAJAL**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Jennifer Alexandra Orejuela Romero MSc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

2023-05-31

Ing. Julio Rolando Coello Cabezas MSc.
**DIRECTOR DE TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

2023-05-31

Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo MSc.
**ASESOR DE TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

2023-05-31

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres América Carvajal y Ángel Verdezoto, quienes fueron el pilar de apoyo incondicional para mi formación académica y dotarme de sabiduría, fuerza y coraje para culminar mis estudios. A mis hermanos Darwin, Washington, Juan, Adrián, Anderson y Álvaro, y hermanas Yolanda y Aurora que siempre me apoyaron a pesar de todas las dificultades que se presentaron, comprendiendo que todo esfuerzo tiene su recompensa. A mis amigos que con sus palabras motivadoras y momentos de alegría me mantuvieron firme de lograr este objetivo de vida. A todos los profesores que me brindaron su conocimiento y me guiaron en el camino del saber. A mí mismo por nunca dejar de luchar por cumplir mis sueños. A todos las personas que con acciones individuales o colectivas intentan cambiar la realidad del mundo en que vivimos.

Miguel

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por bendecirme y guiarme en los mejores caminos de la vida. A mis padres América y Ángel por el sacrificio, esfuerzo, apoyo y confianza que depositaron en mí día tras día sin importar las dificultades que se presentaban, forjándome a ser quien soy, una persona con grandes valores, ética y moral. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darme la oportunidad de estudiar y permitirme culminar una de las etapas de vida tan anhelada. A los profesores de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Sede Orellana que fueron parte fundamental de mi formación profesional. Al Ing. Julio Coello MSc. y a la Biof. Rosa Ormaza MSc. por sus conocimientos y apoyo brindado en realizar el presente Trabajo de Integración Curricular.

Miguel

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.1.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.1.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Hipótesis.....	5
1.4.1. <i>Hipótesis nula</i>	5
1.4.2. <i>Hipótesis Alternativa</i>	5
1.5. Variables.....	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Aguas contaminadas.....	6
2.1.1. <i>Principales contaminantes del agua</i>	6
2.1.1.1. <i>Microorganismos patógenos</i>	6
2.1.1.2. <i>Sustancias químicas inorgánicas</i>	7
2.1.1.3. <i>Nutrientes vegetales</i>	7
2.1.1.4. <i>Desechos orgánicos</i>	7

2.1.1.5.	<i>Sustancias radiactivas</i>	7
2.1.1.6.	<i>Compuestos orgánicos</i>	8
2.1.1.7.	<i>Sedimentos y materiales en suspensión</i>	8
2.1.1.8.	<i>Contaminación térmica</i>	8
2.1.2.	<i>Contaminación del agua con mercurio</i>	9
2.1.2.1.	<i>Fuentes naturales de contaminación por mercurio</i>	10
2.1.2.2.	<i>Fuentes antropogénicas de contaminación por mercurio</i>	10
2.1.3.	<i>Consecuencias de la contaminación del agua por mercurio en la salud humana</i>	11
2.1.3.1.	<i>Efectos neurológicos</i>	11
2.1.3.2.	<i>Presión arterial alta y enfermedad cardíaca</i>	12
2.1.3.3.	<i>Efectos sobre el sistema inmunológico</i>	12
2.1.3.4.	<i>Efectos reproductivos</i>	12
2.1.3.5.	<i>Posible desarrollador cancerígeno</i>	13
2.1.4.	<i>Consecuencias de la contaminación del agua por mercurio en el ambiente</i>	13
2.2.	Tratamiento de aguas	14
2.2.1.	<i>Tratamiento de aguas convencionales</i>	14
2.2.1.1.	<i>Filtración por membrana</i>	14
2.2.1.2.	<i>Intercambio iónico</i>	14
2.2.1.3.	<i>Precipitación química</i>	15
2.2.1.4.	<i>Electrocoagulación</i>	15
2.2.1.5.	<i>Coagulación-floculación</i>	15
2.2.2.	<i>Tratamiento de aguas no convencionales</i>	16
2.2.2.1.	<i>Fitorremediación</i>	16
2.2.2.2.	<i>Biorremediación</i>	16
2.2.2.3.	<i>Biopolímeros</i>	16
2.3.	Nanotecnología	17
2.3.1.	<i>Nanotecnología en el tratamiento de aguas</i>	17
2.3.1.1.	<i>Magnetita</i>	18
2.3.2.	<i>Coagulantes – floculantes químicos</i>	19

2.3.2.1.	<i>Sulfato de aluminio - $Al_2(SO_4)_3$</i>	19
2.3.2.2.	<i>Policloruros de aluminio- $Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}$</i>	19
2.3.2.3.	<i>Cloruro férrico - Fe_2Cl_3</i>	20
2.3.2.4.	<i>Sulfato férrico - $Fe_2(SO_4)_3$</i>	20
2.3.2.5.	<i>Aluminato de sodio – $NaAlO_2$</i>	20
2.3.3.	<i>Coagulantes – floculantes naturales</i>	20
2.3.3.1.	<i>Cactus (Opuntia ficus-indica)</i>	20
2.3.3.2.	<i>Jatrofa (Jatropha curcas)</i>	21
2.3.3.3.	<i>Campanilla (Ipomoeae incarnata)</i>	21
2.3.3.4.	<i>La Moringa (Moringa oleífera)</i>	21
2.3.3.5.	<i>El frijol común (Phaseolus vulgaris)</i>	21
2.3.3.6.	<i>Hediondilla (Cassia obtusifolia)</i>	22
2.3.3.7.	<i>Piñón manso (Jatropha curcas)</i>	22
2.3.3.8.	<i>Okra mucílago (Abelmoschus esculentus)</i>	22
2.3.3.9.	<i>Zaragatona (Plantago psyllium)</i>	22
2.3.3.10.	<i>Haba (Vicia Faba)</i>	23
2.4.	<i>Cacao – CCN – 51 (Theobroma cacao L.)</i>	23
2.4.1.	<i>Caracterización de cacao – CCN – 51</i>	23
2.4.1.1.	<i>Morfología</i>	24
2.4.1.2.	<i>Partes del fruto</i>	24
2.4.2.	<i>Situación del cacao en el Ecuador</i>	25
2.4.3.	<i>Revalorización de residuos</i>	26
2.4.3.1.	<i>Cascarilla de la pepa de cacao</i>	26
2.4.3.2.	<i>Cáscara de cacao</i>	27
2.5.	<i>Prueba de jarras</i>	27
2.5.1.	<i>Variables en la prueba de jarras</i>	27
2.5.1.1.	<i>pH</i>	27
2.5.1.2.	<i>Agitación y mezcla</i>	27
2.5.1.3.	<i>Turbiedad</i>	28

2.5.1.4.	<i>Temperatura del agua</i>	28
2.5.1.5.	<i>Tamaño de las partículas</i>	28
2.5.1.6.	<i>Dosis del coagulante – floculante</i>	28
2.6.	Análisis de la varianza (ANOVA)	28
2.7.	Marco legal	29
2.7.1.	Normativa internacional	29
2.7.1.1.	<i>Organización Mundial de la Salud</i>	29
2.7.1.2.	<i>España</i>	29
2.7.1.3.	<i>Estados Unidos de América (EUA)</i>	29
2.7.2.	Normativa nacional	30
2.7.2.1.	<i>Constitución del Ecuador 2008</i>	30
2.7.2.2.	<i>Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)</i>	30

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	31
3.1.	Compuestos, materiales y equipos	31
3.2.	Obtención del polvo de la cáscara de cacao – CCN – 51 (<i>Theobroma cacao L.</i>) .32	
3.3.	Caracterización del coagulante – floculante natural y las NPMs	33
3.3.1.	<i>Espectroscopía Infrarroja (IR)</i>	33
3.3.2.	<i>Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)</i>	34
3.4.	NPMs	34
3.5.	Fusión del coagulante – floculante natural con las NPMs	34
3.5.1.	<i>Preparación de las muestras de agua con Hg</i>	35
3.6.	Prueba de jarras	35
3.7.	Reutilización de las NPMs	37
3.8.	Análisis estadístico	37

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	38
4.1.	Procesamiento, análisis e interpretación de resultados	38
4.1.1.	<i>Caracterizaciones por IR</i>	38
4.1.1.1.	<i>Caracterización del coagulante – floculante natural</i>	38
4.1.1.2.	<i>Caracterización del ferrofluido</i>	39
4.1.1.3.	<i>Caracterización de las NPMs posterior al tratamiento</i>	40
4.1.2.	Caracterizaciones por MEB	41
4.1.2.1.	<i>Caracterización del coagulante – floculante natural</i>	41
4.1.2.2.	<i>Caracterización de las NPMs posterior al tratamiento</i>	42
4.1.3.	Parámetros medidos de todas las Unidades Experimentales	44
4.1.4.	Parámetros de las muestras con concentración de 11 µg/L	45
4.1.4.1.	<i>pH</i>	45
4.1.4.2.	<i>Temperatura</i>	45
4.1.4.3.	<i>Turbiedad</i>	46
4.1.4.4.	<i>Conductividad</i>	47
4.1.4.5.	<i>Concentración de Hg</i>	48
4.1.5.	Parámetros de las muestras con concentración de 2000 µg/L	49
4.1.5.1.	<i>pH</i>	49
4.1.5.2.	<i>Temperatura</i>	49
4.1.5.3.	<i>Turbiedad</i>	50
4.1.5.4.	<i>Conductividad</i>	51
4.1.5.5.	<i>Concentración de Hg</i>	51
4.2.	Discusión	52
4.3.	Comprobación de la hipótesis	54
4.3.1.	<i>Análisis de la varianza (ANOVA) para las UE con concentración de 11 µg/L de Hg</i>	54
4.3.2.	<i>Análisis de la varianza (ANOVA) para las UE con concentración de 2000 µg/L de Hg</i>	55

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES.....57

RECOMENDACIONES.....58

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Variables planteadas en la investigación.....	5
Tabla 1-2: Propiedades del mercurio elemental.....	9
Tabla 2-2: Combinaciones del mercurio como contaminante en el agua.....	9
Tabla 3-2: Distribución continental de los principales depósitos de mercurio.....	10
Tabla 4-2: Principales aplicaciones de la nanotecnología.....	17
Tabla 5-2: Evidencias de aplicación de la magnetita con diferentes compuestos.....	19
Tabla 6-2: Taxonomía del Cacao – CCN – 51 – <i>Theobroma cacao L.</i>	23
Tabla 7-2: Morfología del Cacao – CCN – 51 – <i>Theobroma cacao L.</i>	24
Tabla 8-2: Partes del fruto de Cacao – CCN – 51 – <i>Theobroma cacao L.</i>	24
Tabla 9-2: Exportaciones de cacao periodo 2014 – 2018.....	25
Tabla 10-2: Límite máximo permisible de mercurio en aguas según la OMS.....	29
Tabla 11-2: Límite máximo permisible de mercurio en aguas superficiales en España.....	29
Tabla 12-2: Límite máximo permisible de mercurio en aguas superficiales en EUA.....	30
Tabla 13-2: Límite máximo permisible de mercurio en descarga a un cuerpo de agua dulce.....	30
Tabla 1-3: Compuestos, materiales y equipos utilizados.....	31
Tabla 2-3: Cantidades utilizadas para la fusión del coagulante – floculante natural con las NPMs.....	34
Tabla 3-3: Diseño experimental para la dosificación de la solución coagulante.....	36
Tabla 1-4: Resultados de parámetros medidos en todas las Unidades Experimentales.....	44
Tabla 2-4: Análisis ANOVA para UE con concentraciones de 11 µg/L de Hg.....	54
Tabla 3-4: Análisis ANOVA para UE con concentraciones de 2000 µg/L de Hg.....	56

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Estructura de Fe_3O_4	18
Ilustración 2-2: Exportaciones de cacao en el periodo 2014 – 2018.	26
Ilustración 1-3: Diagrama de flujo para la obtención del polvo de la cáscara de cacao.	33
Ilustración 1-4: Espectro IR del coagulante – floculante natural.	38
Ilustración 2-4: Espectro IR del ferrofluido.	39
Ilustración 3-4: Espectro IR de las NPMs posterior al tratamiento.	40
Ilustración 4-4: Micrografía del coagulante – floculante natural por MEB.	41
Ilustración 5-4: Micrografía de las NPMs por MEB de: a) *UE ₃ ; b) *UE ₁₀ ; c) *UE ₁₆	42
Ilustración 6-4: Resultados de pH en las UE de 11 $\mu g/L$	45
Ilustración 7-4: Resultados de temperatura en las UE de 11 $\mu g/L$	45
Ilustración 8-4: Resultados de turbiedad en las UE de 11 $\mu g/L$	46
Ilustración 9-4: Resultados de conductividad en las UE de 11 $\mu g/L$	47
Ilustración 10-4: Resultados de Hg en las UE de 11 $\mu g/L$	48
Ilustración 11-4: Resultados de pH en las UE de 2000 $\mu g/L$	49
Ilustración 12-4: Resultados de temperatura en las UE de 2000 $\mu g/L$	49
Ilustración 13-4: Resultados de turbiedad en las UE de 2000 $\mu g/L$	50
Ilustración 14-4: Resultados de conductividad en las UE de 2000 $\mu g/L$	51
Ilustración 15-4: Resultados de Hg en las UE de 2000 $\mu g/L$	51
Ilustración 16-4: Media de remoción de Hg (%) en concentraciones de 11 $\mu g/L$	55
Ilustración 17-4: Media de remoción de Hg (%) en concentraciones de 2000 $\mu g/L$	56

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: OBTENCIÓN DEL POLVO DE LA CÁSCARA DE CACAO – CCN – 51.

ANEXO B: ENSAYOS EN EL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS.

ANEXO C: LECTURA IR DEL COAGULANTE – FLOCULANTE NATURAL Y NPMs.

ANEXO D: MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE HG FINAL EN LAS UE LUEGO DE REALIZAR LOS ENSAYOS EN EL EQUIPO ESPECTROFOTÓMETRO DE ADSORCIÓN ATÓMICA.

ANEXO E: NORMALIDAD Y HOMOGENEIDAD PARA LA COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS.

ANEXO F: RESULTADO DE HG RESULTANTE EN CADA UNA DE LAS UE.

RESUMEN

El trabajo tuvo como objetivo comprobar si el uso de distintas dosificaciones de un coagulante – floculante natural a base de la cáscara de cacao – CCN – 51 (*Theobroma cacao L.*) con Nanopartículas Magnéticas (NPMs) presenta diferencias significativas en la remoción de mercurio (Hg) durante los procesos de coagulación – floculación. El método aplicado se basó en la Prueba de Jarras con muestras de agua con 11 $\mu\text{g/L}$ y 2 000 $\mu\text{g/L}$ de Hg con distintas soluciones coagulantes (M_1 , M_2 , M_3). La solución coagulante se obtuvo del polvo de cacao y las NPMs fueron facilitadas por el laboratorio de Química Analítica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; ambos componentes se caracterizaron mediante IR (Espectroscopía Infrarrojo Cercano) y MEB (Microscopía Electrónica de Barrido); adicional, para la comprobación de la hipótesis se aplicó ANOVA a través del programa SPSS. La caracterización del coagulante – floculante natural y de las NPMs por IR, mostró la presencia de grupos funcionales de Aminas, Amidas, Alquenos, Alquinos, Alcoholes, Fluoruros, Sulfones, Cloruros de sulfonilos, Sulfatos, Alcoholes, Ésteres y Bromuros o Ioduros; por otra parte, con la caracterización por MEB, las partículas del coagulante – floculante natural y las NPMs mostraron un tamaño promedio de 1,26 μm y 0,59 μm respectivamente, con formas elípticas e irregulares. La remoción de Hg más alta, en las Unidades Experimentales (UE) con concentración de 11 $\mu\text{g/L}$, fue con la M_1 con un promedio de 68,91%, mientras que para las UE con concentración de 2 000 $\mu\text{g/L}$ de Hg fue la M_2 con un promedio de 61,68%. Se concluye estadísticamente que no existieron diferencias significativas en el uso de las diferentes dosis de solución coagulante, sin embargo, se obtuvo porcentajes favorables de hasta el 84,24% de remoción de Hg con la solución coagulante M_2 . Esto impone al tratamiento utilizado como una alternativa amigable con el ambiente a diferencia de los coagulantes – floculantes sintéticos.

Palabras clave: <TRATAMIENTO DE AGUAS>, <PRUEBA DE JARRAS> <COAGULANTE – FLOCULANTE NATURAL>, <CACAO (*Theobroma cacao L.*)>, <NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS>, <MERCURIO (Hg)>.

1232-DBRA-UPT-2023



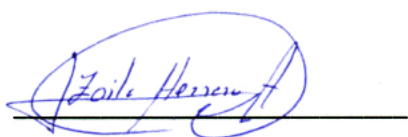
Cristian Tenelanda S.
03-07-2023.

ABSTRACT

The aim of the study was to check if the use of different dosages of a natural coagulant – flocculant based on cocoa husks – CCN – 51 (*Theobroma cacao L.*) with Magnetic Nanoparticles (MPNs) presents significant differences in the removal of mercury (Hg) during coagulation – flocculation processes. The applied method was based on Jar Test with water samples with 11 µg/L and 2 000 µg/L of Hg with different coagulating solutions (M₁, M₂, M₃). The coagulant solution was obtained from cocoa powder and MPNs were provided by Analytical Chemistry laboratory at Polytechnic School of Chimborazo; both components were characterized by Near Infrared (NIR) and Scanning Electron Microscopy (SEM); additionally, for hypothesis testing, ANOVA was applied through the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) program. The characterization of natural coagulant – flocculant and MPNs by IR, showed the presence of functional groups: Amines, Amides, Alkenes, Alkynes, Alcohols, Fluorides, Sulfons, Sulfonyl Chlorides, Sulfates, Esters, and Bromides or Iodides; On the other hand, with characterization by MEB, the particles of the natural coagulant – flocculant and the MPNs showed an average size of 1.26 µm and 0.59 µm respectively, with elliptical and irregular shapes. The highest Hg removal, in the Experimental Units (EU) with a concentration of 11 µg/L, was with M₁ with an average of 68.91%, while for the EU with a concentration of 2 000 µg/L of Hg it was M₂ with an average of 61.68%. It is concluded statistically that there were no significant differences in the use of different doses of coagulant solution, however, favorable percentages of up to 84.24% of Hg removal were obtained with the coagulant solution M₂. This imposes the treatment used as an environmentally friendly alternative to coagulants – synthetic flocculants.

Keywords: <WATER TREATMENT>, <JAR TEST> <COAGULANT – NATURAL FLOCCULANT>, <COCOA (*Theobroma cacao L.*)>, <MAGNETIC NANOPARTICLES>, <MERCURY (Hg)>.

Translated by:



Lic. Zoila Victoria Herrera Andrade Mgs.
DOCENTE-SEDE ORELLANA ESPOCH

1232-DBRA-UPT-2023

INTRODUCCIÓN

La contaminación hacia el medio ambiente a causa de metales pesados se ha convertido en una de las mayores problemáticas en el mundo debido a que se generan por varias actividades industriales (Volesky y Holan, 1995, p.235). Uno de los metales es el mercurio (Hg) que, a temperatura y presión ambiente es líquido, posee una densidad de 13,456 g/ml a 25 °C, su peso atómico es de 200,59 y no cumple un rol fundamental biológicamente a pesar de que se produce de forma natural (Adriano, 1986, p.298).

El Hg es conocido tanto por poseer características tóxicas como por permanecer bioquímicamente activo, persistente y bioacumulable para el medio ambiente y seres vivos, por lo que puede generar contaminación dependiendo de la cantidad de concentración y tiempo de exposición (Zambrano et al., 2017, p.17). En este sentido, en el Ecuador, el Hg no se exenta de formar parte del problema creciente debido a su empleo en procesos industriales, mineros, agrícolas y urbanos en los últimos años. A pesar de que, estas actividades son una fuente de ingresos económicos para el desarrollo del país, también generan grandes impactos en los componentes social, ambiental y de salud (Calderón, 2020, p.19).

Uno de los recursos más afectados por el uso del Hg es el agua, ya que afecta gravemente su calidad, dependiendo de las reacciones químicas y biológicas que se presenten en el medio. Adicional, puede ser aún más tóxico para la salud humana y ecosistemas en general debido a que puede transformarse de mercurio inorgánico a metilmercurio y de esta manera, propagarse en el agua, concentrarse y magnificarse en la cadena trófica (Badilla, 2018, p.9). Razón por la cual, el empleo de procesos de tratamiento y depuración de aguas contaminadas con este metal, juegan un papel prioritario para mejorar su calidad y disminuir significativamente las concentraciones, además, de remover los sólidos en suspensión presentes (Hernández et al., 2014, p.136).

En cuanto a la separación de la materia suspendida en el agua por sedimentación, en algunas ocasiones, presenta dificultades debido a que se requiere una extensión del área del sedimentador y una aplicación de tiempos de residencia altos (Lorenzo, 2006, p.11). En este contexto, el proceso de coagulación–floculación, es un tratamiento fisicoquímico usado para optimizar la separación de partículas en el agua, debido a que con la coagulación se consigue la neutralización de las cargas de las partículas, y con la floculación, la formación de flóculos y su crecimiento (Miranda et al., 2018, pp.63-74). Este proceso puede mejorar con el uso de productos coadyuvantes que actúen sobre los compuestos que originan interferencias en la coagulación o que mejoran la floculación, lo que aumenta el tamaño de los flóculos y su densidad, incrementando también la velocidad de sedimentación (Aguilar, 2002, p.17).

Uno de los productos de gran interés que ha surgido en los métodos de adsorción de iones metálicos, es el empleo de nanopartículas, ya que han evidenciado un alto grado de eficacia en los tratamientos de aguas para la remoción de contaminantes sin presentar efectos negativos al medio ambiente (Afkhani et al., 2010, p.836). Las Nanopartículas Magnéticas (NPMs), debido a sus propiedades fisicoquímicas y estructurales, resultan como adsorbentes potenciales para la eliminación de iones metálicos debido a que son muy efectivas por abarcar gran área superficial en los procesos de coagulación – floculación, además, de ser viables económicamente a diferencia con otras técnicas (Rajput et al., 2016, p.334).

En ese marco, también es evidente el uso o aplicación de nanopartículas con coagulantes-floculantes sintéticos para el tratamiento de aguas, como: el sulfato férrico, sulfato ferroso, sulfato de aluminio, aluminato de sodio y cloruro férrico. Sin embargo, éstos llegan hacer nocivos para el medio ambiente y salud humana a pesar de ser los más utilizados por su rendimiento, disponibilidad y efectividad (Shak y Wu, 2014, p.256). Por el contrario, los coagulantes – floculantes naturales resultan ser una de las mejores alternativas para mitigar dichos impactos, como la *Moringa Oleífera*, *Jatropha curcas* y *Opuntia ficus indica*, puesto que resultan fáciles de obtener su sustancia coagulante – floculante y no generan impacto ambiental por su naturaleza orgánica al ser biodegradables (Sánchez et al., 2009, p.119; Yin, 2010, p. 1437; Abidin et al., 2013, p.319).

En relación con lo mencionado, los desechos de cacao, los cuales se generan en procesos industriales de diversas actividades, han surgido como otra de las alternativas para reemplazar a los coagulantes – floculantes sintéticos. Una de las características más representativas es la cascarilla de la pepa de cacao, siendo un excelente precursor de bioadsorbentes metálicos (Lara et al., 2016, p.113; Saldarriaga y Villarroel, 2020, p.56). No obstante, la cáscara como tal, es la que mayor estudio posee en el tratamiento de aguas contaminadas, debido a que, está compuesta de celulosa, pectina y lignina, siendo un material lignocelulósico con niveles más altos de adsorción de metales en el agua (Okoya et al., 2014, p.147).

Es por esto que, el propósito de esta investigación es obtener un coagulante natural modificado con nanopartículas magnéticas para el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio, puesto que actualmente, es uno de los metales con mayor presencia en los cuerpos de agua del país por diversas actividades. Esto se impone como una alternativa amigable con el ambiente y de bajo costo en cuanto a producción se refiere, impulsando y aportando significativamente el bienestar humano, ambiental y social.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El agua es un recurso vital para las personas, plantas y animales, por lo que se convierte en una preocupación constante en el mundo debido a que sus fuentes se ponen en riesgo por la contaminación en auge, lo que desencadena consecuencias de gran magnitud para el medio ambiente y salud humana (Carrasquero et al., 2019, p.19). Las actividades antrópicas aportan cada vez más contaminación por metales pesados, tanto para los cuerpos de agua subterráneos como superficiales, ya que no son biodegradables y son sumamente tóxicos, lo que dicha preocupación compromete cada vez más a los recursos para las futuras generaciones (Bodas et al., 2015, p.1).

El Hg, como uno de los metales pesados más peligrosos presentes en los cuerpos de agua, puede viajar largas distancias y depositarse remotamente de su fuente originaria, donde la actividad bacteriana la absorbe y transforma en metilmercurio, introduciéndose con más facilidad en las redes alimentarias (Romero, 2009, p.45). Es así como, a nivel mundial y en países en vías de desarrollo, existen casos de las afectaciones que provocan a la salud, debido a que alimentos contaminados con Hg son consumidos sin el conocimiento de su elevada toxicidad, por lo que resulta sumamente alarmante (Reyes et al., 2016, p.67).

En Ecuador, varios estudios realizados evidencian alta contaminación con Hg en los ríos. Los cuales muestran valores superiores en un 200 % a 700 % con respecto a los límites máximos permisibles para el agua potable y desarrollo de la fauna. Esto a causa de la minería aurífera que ha crecido en las últimas cuatro décadas, especialmente en la amazonia, lo que también ha impactado drásticamente a los costes de vida (Ramírez et al., 2003, p 371; Mora et al., 2019, p.210; Mora et al., 2018, p.245; González et al., 2016, p.171; Mestanza et al., 2022, p.21).

Los tratamientos de aguas para metales pesados por coagulantes – floculantes sintéticos, resultan en algunos casos, en un aumento de las concentraciones contaminantes ya que dejan partículas dañinas como el cloruro férrico, el sulfato de aluminio o el policloruro de aluminio (Meza et al., 2018, p.95). Por otro lado, son costosos, debido a su poca disponibilidad y costos elevados de producción al ser sintetizados a base de hierro y aluminio, a pesar de ser eficientes en remoción, se acumulan en el medio ambiente y resultan perjudiciales para el medio biótico al aumentar sus concentraciones (Asrafuzzaman et al., 2011, p.6).

Por lo expuesto, se convierte en una necesidad la investigación de nuevos coagulantes – floculantes naturales para sustituir a los sintéticos que, a pesar de que tratan muy bien las aguas y son eficientes, dejan residuos en el agua que alteran su calidad y estado natural.

1.2. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Obtener un coagulante natural modificado con nanopartículas magnéticas para el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio.

1.1.2. Objetivos específicos

- Extraer el agente coagulante – floculante de la cáscara de cacao – CCN – 51 (*Theobroma cacao L.*).
- Caracterizar el coagulante – floculante natural y las NPMs por Espectroscopía Infrarroja (IR) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).
- Determinar la eficacia de la solución coagulante en el proceso de coagulación – floculación.
- Realizar la extracción de las NPMs y probar su reutilización.

1.3. Justificación

En el proceso de coagulación – floculación se evidencia con claridad la aplicación de químicos que permiten la inserción de nuevos elementos contaminantes en los cuerpos de agua, por lo que una de las alternativas para reducir y minimizar los impactos que estos generan, es mediante su reemplazo con coagulantes – floculantes naturales. Como son los obtenidos por los residuos de cacao, los cuales pueden presentar resultados favorables en cuanto a la remoción de metales pesados como el Hg.

Por otra parte, se debe recalcar que es muy importante conseguir, a través de la aplicación de productos naturales, el cumplimiento de la normativa ambiental ecuatoriana referente a los límites máximos permisibles de concentraciones de Hg en las descargas de aguas, lo cual se dispone en el Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

En este contexto, revalorizar los residuos de cacao, en especial su cáscara, resulta una opción viable, económica y amigable con el medio ambiente al ser complementados con NPMs que

aumenten la eficacia de remoción de mercurio en el proceso de coagulación – floculación. Adicional, las NPMs pueden ser extraídas una vez utilizadas para su reutilización en dicho proceso. Por otra parte, al emplearlos no resultarían tóxicos, por lo que no afectarían la calidad del agua y podrían ayudar a que más lugares puedan acceder a este recurso limpio y libre de metales pesados, mejorando significativamente la salud y calidad de vida de las poblaciones.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis nula

El uso de distintas dosificaciones de un coagulante – floculante natural con nanopartículas magnéticas no presenta diferencias significativas en la remoción de mercurio en diferentes concentraciones durante los procesos de coagulación – floculación.

1.4.2. Hipótesis Alternativa

El uso de distintas dosificaciones de un coagulante – floculante natural con nanopartículas magnéticas presenta diferencias significativas en la remoción de mercurio en diferentes concentraciones durante los procesos de coagulación – floculación.

1.5. Variables

Las variables planteadas en la presente investigación son las que se describen a continuación en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1: Variables planteadas en la investigación

Variable	Tipo de variable	Indicadores	Unidad
Coagulante natural a base de la cáscara de cacao – CCN-51 (<i>Theobroma cacao L.</i>) con nanopartículas magnéticas.	Independiente	Dosis	mL
Aguas contaminadas con mercurio (Hg)	Dependiente	Concentración de mercurio	mg/L

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Aguas contaminadas

La contaminación del agua es la alteración o modificación de su calidad y composición, quedando no apta para su uso y con riesgos para la salud humana y el medio ambiente (Guadarrama et al., 2016, pp.1-10). De este modo, dicha contaminación puede originarse de forma natural o antrópica: por un lado, de forma natural es muy dispersa y no se generan concentraciones altas de contaminantes; mientras que, de forma antrópica, al ser causadas por actividades humanas, pueden generarse en concentraciones muy altas debido al desarrollo y la industrialización de varias actividades de la población, ya que existe excesiva generación de residuos y uso del agua (Rodríguez, 2009, pp.1-26).

2.1.1. Principales contaminantes del agua

2.1.1.1. Microorganismos patógenos

Son los virus, protozoos, bacterias, virus y demás microorganismos que se encargan de la transmisión de enfermedades como giardiasis (*Giardia lamblia*), shigelosis (*Shigella*), salmonelosis (*Salmonella*), entre otros (Apella y Araujo, 2005, pp.33-50). Estos microorganismos se involucran en el agua a través de las heces y restos orgánicos, generando un riesgo para la salud humana, en especial a los niños que, en algunas ocasiones, provocan muerte prematura (Rodríguez, 2009, pp.1-26). En gran mayoría, dicha transmisión ocurre por la ingesta o consumo del agua con estos patógenos, pero también puede integrarse por inhalación de microgotas y por exposición al contacto con la piel (Havelaar et al., 2001, pp.17-40).

Para la determinación de los microorganismos patógenos en el agua, es imprescindible realizar un análisis microbiológico de ciertos organismos considerados como indicadores que también indique el nivel contaminante, aquellos organismos son: aerobios mesófilos, coliformes totales y fecales (Rivera et al., 2001, pp.1-10). En este sentido, la desinfección del agua debe llevarse a cabo por varios métodos físicos como la ebullición y rayos ultravioletas o por procesos químicos como el empleo del cloro y ozono, lo cuales garanticen su potabilización y protección contra los riesgos o afectaciones a la salud (Organización Panamericana de la Salud, 1999, pp.5-6).

2.1.1.2. Sustancias químicas inorgánicas

Estas sustancias se pueden encontrar de forma natural en el agua o también por contaminación directa o indirecta de las actividades humanas. Además, a pesar de que se trate el recurso, si los procesos de coagulación y cloración no son los óptimos, puede incrementar los niveles de contaminantes inorgánicos como los cloruros y sulfatos (Silva et al., 2015, pp.156-166). Las sustancias químicas inorgánicas las componen las sales, ácidos y metales tóxicos como el plomo, mercurio, cadmio y arsénico que, al presentarse con concentraciones y cantidades muy altas, causan daños severos en el medio ambiente y en los seres vivos generando enfermedades cardiovasculares, cáncer y diabetes (Meoño et al., 2015, pp.8-25).

2.1.1.3. Nutrientes vegetales

Los nutrientes estimulan el desarrollo de flora acuática, sin embargo, interfieren con los usos del agua y cuando se descomponen, agotan el oxígeno disuelto, produciendo olores desagradables al aire (Bourgeois y Barragán, 2010, pp.199-216). Los componen Nitratos y Fosfatos, estos son solubles en agua y los principales generadores de la eutrofización de las aguas, a pesar de ser fundamentales para el desarrollo de las plantas, cuando se encuentra en concentraciones excesivas, generan un crecimiento desmesurado de algas, exceso de macrofitas y reducción de la concentración del oxígeno disuelto (Rodríguez, 2009, pp.1-26).

2.1.1.4. Desechos orgánicos

Son aquellos desechos generados por los seres humanos, sector ganadero, bovino, porcino, avícola, entre otros. Estos contienen bacterias aeróbicas que, al existir en exceso, agotan considerablemente el oxígeno y no permiten el crecimiento ni desarrollo de otros organismos que dependen de dicho elemento (Cuenca, 2016, p.5). La descomposición aeróbica es a la cual se someten los desechos orgánicos, por lo que produce gases y se integra en la atmósfera en forma de metano que se convierte en dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno que se convierte en sulfato, dejando como resultado un ecosistema quebrantado (Rodríguez, 2009, pp.1-26).

2.1.1.5. Sustancias radiactivas

La contaminación radiactiva puede afectar a la salud humana directamente debido a la exposición externa e interna por inhalación o ingestión de alimentos contaminados, lo cual desarrolla mutaciones, malformaciones y enfermedades genéticas (Dotres et al., 1995, pp.6-12). Estas sustancias son generadas por la minería, refinado de torio y uranio, centrales nucleares, la industria, campo

científico y médico, las cuales son isótopos radiactivos solubles desarrolladas por átomos inestables que, al liberar energía la emite como radiación y puede integrarse y acumularse en la cadena trófica, principalmente en tejidos vivos en concentraciones muy altas (Miguez y Guerrero, 2021, p.52; Rodríguez, 2009, pp.1-26).

2.1.1.6. Compuestos orgánicos

Se hace referencia a aquellas moléculas orgánicas, como los plaguicidas, disolventes, petróleo, detergentes, etc., que permanecen largos periodos de tiempo en el agua y afectan directamente a la vida acuática debido a que su estructura molecular es compleja (Guadarrama et al., 2016, pp.1-10). Por otra parte, es importante mencionar que los océanos y mares son los sumideros de estos tipos de contaminantes ya que surgen por accidentes petrolíferos que, a pesar de que la legislación obliga a emplear sistemas de limpieza al responsable, no es lo suficiente (Rodríguez, 2009, pp.1-26). Adicional, es difícil su identificación debido a que los instrumentos y la metodología analítica son limitaciones que demandan de tiempo y recursos económicos (Becerril, 2009, pp.1-7).

2.1.1.7. Sedimentos y materiales en suspensión

Son las mayores fuentes de contaminación, generan turbidez en el agua y dificultan la vida de los organismos, además, se acumulan en grandes cantidades, lo que destruye lugares de alimentación de peces, rellenan pantanos y generan obstrucción en ríos, canales y puertos (Cuenca, 2016, p.5). Estos contaminantes son productos de partículas desprendidas del suelo y movidas por las corrientes de aguas con otros materiales en suspensión, por lo que son considerados no biodisponibles y un riesgo para la biota (Winger et al., 2000, pp.128-136).

2.1.1.8. Contaminación térmica

Es producto de la liberación de aguas con temperaturas elevadas por parte de centrales e industrias, lo que disminuye considerablemente el nivel de oxígeno y afecta directamente a la vida acuática (Rodríguez, 2009, pp.1-26). Por otra parte, modifica los ciclos biológicos y se genera un adelantamiento de las especies a épocas tempranas, desapareciendo especímenes por falta de características óptimas para su adecuado desarrollo por la calidad del agua. Dichas consecuencias también se ven influenciadas por la temperatura, ya que controla ciertos procesos fisiológicos y bioquímicos, afectando también la solubilidad de gases y sólidos (García, 2022, p.36).

2.1.2. Contaminación del agua con mercurio

El Hg es un elemento metálico con un color plateado que, a temperatura ambiente, se encuentra en estado líquido, es caracterizado por ser un elemento de transición en la tabla periódica y presentarse en varias modalidades en la naturaleza como forma metálica, gas o vapor, en combinación con otros elementos como el azufre y cloro (Kirk y Othemer, 1967, pp.537-556). Adicional, se conoce como azogue, mercurio líquido, o mercurio metálico, sin embargo, a su estado puro se lo denomina mercurio elemental y presenta las siguientes características:

Tabla 1-2: Propiedades del mercurio elemental

Propiedad	Valor
Peso atómico	200,59
Número atómico	80
Masa	13,5336 g/cm ³
Punto de ebullición	356,58 °C
Punto de fusión	-38,87 °C
Presión de vapor a 25 °C	2×10^{-3} µg/L mm Hg
Solubilidad en agua a 25 °C	20 – 30 µg/L

Fuente: (Weinberg, 2011, pp.9-30)

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

Por otra parte, la subclase de los alquimercuriales de cadena corta, son los compuestos que adquieren más importancia en la toxicología, ya que el Hg está unido al átomo de carbono (C) con un grupo propilo, etilo o metilo (Yarto et al., 2004, pp.21-34). Dicho metal como contaminante del agua, puede presentarse en las combinaciones descritas en la Tabla 2-2, donde el metilmercurio y fenilmercurio son los que mayor preocupación y contaminación pueden presentar debido a su capacidad de integrarse en la cadena alimenticia (Ebinghaus, 1999, p.1).

Tabla 2-2: Combinaciones del mercurio como contaminante en el agua

Nombre	Estructura química
Mercurio metálico	Hg ⁰
Mercurio divalente	Hg ²⁺
Fenilmercurio	C ₆ H ₅ Hg ⁺
Metilmercurio	CH ₃ Hg ⁺

Fuente: (Kirk y Othemer, 1967, pp.537-556)

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

2.1.2.1. Fuentes naturales de contaminación por mercurio

La contaminación por Hg natural procede de la corteza terrestre por la desgasificación mediante los gases volcánicos, erosión del suelo y océanos, así mismo, existen yacimientos de este elemento en zonas volcánicas, donde se libera de forma natural, como la Cordillera del Pacífico oriental, el Cinturón de Fuego, la Cordillera Mesoatlántica, la Cordillera del Pacífico Oriental y el Himalaya (Rocha et al., 2018, pp.92-102). Es así como se estima que 30 000 toneladas (t) de Hg llegan a la superficie terrestre anualmente producto de la precipitación pluvial de las zonas volcánicas y alrededor de 5000 t a los ríos por escorrentía (Agudelo y Arengas, 1998, pp.1-9). Por otra parte, se distingue también una distribución continental de los principales depósitos de Hg, estos se detallan a continuación en la Tabla 3-2:

Tabla 3-2: Distribución continental de los principales depósitos de mercurio

Continente	Países
Europa	España
	Italia
	Turquía
	Yuvoslovaquia
	Rusia
Americano	Estados unidos de América
	México
	Chile
	Perú
	Colombia
Asia	China
	Japón
	Filipinas

Fuente: (Mitra, 1986, p.1)

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

2.1.2.2. Fuentes antropogénicas de contaminación por mercurio

El Hg se ha utilizado desde la antigüedad por el ser humano, por ejemplo: Aristóteles lo usaba en cultos religiosos en el siglo IV a.C.; en Roma era usado como pigmento para decorar el cuerpo humano y pinturas rupestres; y los egipcios y griegos lo empleaban con fines estéticos, cosméticos y en reparaciones médicas (Kirk y Othemer, 1967, pp.537-556). Razón por la cual, la investigación continua de las propiedades tanto físicas como químicas del Hg, dio origen a la gran diversidad de su empleo en la industria después de los años 1900, donde las revoluciones más destacadas que surgieron, fue el invento de la pila de Hg y el empleo terapéutico con combinaciones de este metal con el cloro y oxígeno (Yarto et al., 2004, pp.21-34).

Una de las industrias que más emplea el uso del Hg en sus procesos, es la minera, ya que existe evidencia de la generación de alrededor de 10 000 t y una tasa de crecimiento de 2 % anual a nivel mundial. Esto se ve reflejado en las aguas con niveles superiores a los 80 mg/L de Hg (Mittra, 1986, pp.1-5). Ecuador también se ve impactado por esta industria, posicionándose como el cuarto país de América Latina que emite aproximadamente 50 t de Hg por la minería artesanal en las tres regiones, los cuales se integran de forma perjudicial en los ríos cercanos donde se desarrolla esta actividad (Castelo, 2015, p.14).

La industria del cloro también aporta a la contaminación por Hg, debido a que su proceso se basa en la electrólisis del cloruro de sodio, donde se usa una celda de Hg que puede contener más de 6000 kilogramos (kg) de este metal. Esto también se refleja en la producción de sosa cáustica, puesto que existen pérdidas de 150 a 250 g de Hg por cada kg de cloro (Mittra, 1986, pp.1-5). Por otra parte, se encuentra la industria de la pulpa y el papel, los cuales emplean fenilmercurícos como conservadores, donde alrededor de 5 al 20 % empleado es descargado a los cuerpos de agua (Gaioli et al., 2012, pp.259-264).

En otro ámbito, se encuentra involucrada la industria eléctrica y de pinturas debido a que son las mayores consumidoras de Hg: por un lado, la industria eléctrica a causa del uso de compuestos organomercuriales, fenilmercuriales y oleatos como fungicidas y bactericidas; y por otro lado, la industria de la pintura debido a la liberación del Hg durante la manufactura de dicho producto a través de la descargas a los cuerpos de agua y al uso de las mismas por los consumidores (Yarto et al., 2004, pp.21-34).

Finalmente, la industria del carbón también se constituye como una fuente contaminante por Hg debido a su uso en carboeléctricas, hornos comerciales y calentadores domésticos, esto porque el carbón contiene cantidades pequeñas, alrededor de 0,04 a 0,7 miligramo/kilogramo (mg/kg) de Hg en forma natural, la cual se libera al ser quemado (Mittra, 1986, pp.1-5). Si bien hablamos de la emisión directa en el aire, se debe tener en cuenta que esta se integra directamente en el vapor de agua en la atmósfera por los diversos procesos naturales, por ende, se incorpora en las aguas lluvia, afectando indirectamente su calidad cuando existe precipitación.

2.1.3. Consecuencias de la contaminación del agua por mercurio en la salud humana

2.1.3.1. Efectos neurológicos

Los efectos generados en el sistema nervioso son causados por el alto nivel de toxicidad del metilmercurio, siendo susceptible desde el feto en desarrollo hasta el cerebro de personas adultas.

Además, la exposición frecuente al Hg ralentiza el crecimiento de neuronas, principalmente en el desarrollo del cerebro, lo cual causa daños irreparables al sistema nervioso central (Nabi, 2014, pp.201-209). Por otro lado, la exposición en madres en periodos de lactancia, con el paso del tiempo, se evidencian en los niños un déficit en el Coeficiente Intelectual, pérdidas en la función motora, baja tensión residual muscular y un desempeño deficiente tanto visual como espacial (Molina et al., 2018, pp.19-29).

2.1.3.2. Presión arterial alta y enfermedad cardíaca

Estos efectos son causados debido al consumo de alimentos contaminados con metilmercurio, por lo cual, existe evidencia de la generación de riesgos de ataques cardiacos en la persona que los consume, así mismo, se presenta una elevada presión sanguínea en personas que son expuestas de forma ocupacional al mercurio elemental (Estechea, 2009, p.631; Vinyoles, 2007, pp.268-269). No obstante, no solo depende de aquello, sino de la concentración, de la combinación de dicho elemento con otras sustancias y de las vías de exposición.

2.1.3.3. Efectos sobre el sistema inmunológico

La exposición digestiva, inhalatoria y dérmica al metilmercurio aumenta considerablemente la susceptibilidad hacia enfermedades autoinmunes a causar daños al sistema inmunológico, así como enfermedades infecciosas con fácil transmisión y gran afectación, lo cual ha sido demostrado en estudios in vitro y en la práctica con animales (Morales y Reyes, 2003, p.266-272). Adicional, la exposición prenatal frente al metilmercurio a largo plazo genera afectaciones en el desarrollo del sistema inmunológico de las personas (Weinberg, 2011, pp.9-30).

2.1.3.4. Efectos reproductivos

Los efectos reproductivos no han sido evaluados adecuadamente en los seres humanos, sin embargo, existe un caso clínico que ha dado como resultado indicios de aquello, donde se justificó un descenso de 79 % en la tasa de embarazos de un total de 6 000 personas expuestas al metilmercurio en Iraq a causa de un incidente en plantaciones de trigo (Weinberg, 2011, pp.9-30). Por otro lado, en estudios con animales como los primates, se ha encontrado problemas reproductivos, destacándose el aumento de la tasa de concepción, mortinatalidad y pérdida del feto, lo que genera evidencia sugestiva del metilmercurio en los aparatos reproductivos (Morales y Reyes, 2003, pp.266-272).

2.1.3.5. Posible desarrollador cancerígeno.

Con el paso del tiempo, el cáncer ha tomado fuerza como una de las enfermedades más repercutidas para las personas expuestas al metilmercurio por diversas razones, motivo por el cual la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) clasificó a dicho metal como un posible desarrollador carcinógeno humano y dañino a nivel de los cromosomas (Méndez y Zapata, 2021, pp.660-675). Es así como, varias investigaciones, indican que los hombres son más susceptibles a efectos cancerígenos en el hígado y la piel, mientras que las mujeres, en los pulmones y vejiga urinaria, sin embargo, en ambos sexos el metilmercurio y el mercurio metálico, tienen efectos neurológicos, es decir, en los riñones (Osorio y Sanabria, 2020, pp.56-62).

2.1.4. Consecuencias de la contaminación del agua por mercurio en el ambiente

El Hg se encuentra en constante movimiento en el medio ambiente, esto ha impulsado sus niveles por el inicio de la era industrial, razón por la cual, puede encontrarse en muchas partes del mundo e inclusive, se ha registrado concentraciones mínimas en regiones como el Ártico (Español y Cano, 2012, p.32). Es así como el Hg tiene repercusiones en la biodiversidad ya que, al reducirla y afectar los ecosistemas, disminuye la capacidad natural de los servicios ambientales para el equilibrio ecosistémico (Corredor et al., 2012, pp.78-80).

La Agencia Estadounidense de Protección Ambiental (EPA) ha demostrado que existen concentraciones de metilmercurio en nutrias, panteras y águilas a causa de que se alimentan de peces contaminados, esto indica que las aves y mamíferos son los que más se exponen al metilmercurio y sus consecuencias. (Boening, 2000, pp.1335-1351). En Ecuador, existe grandes casos donde se expone la contaminación del agua por Hg y, en especial, originada por el sector minero. Por ejemplo, en la costa y amazonía, existen altos niveles de Hg en los ríos, los cuales pasan los límites permisibles establecidos por la legislación ambiental, y por ende, se incorporan en la cadena alimentaria (Ramírez et al., 2003, p 371; Mora et al., 2019, p.210; Mora et al., 2018, p.245; González et al., 2016, p.171; Mestanza et al., 2022, p.21).

Por otra parte, el Hg conlleva reacciones tanto de adsorción como de desorción en el agua, razón por la cual, su compleja estructura en interacción con la materia orgánica puede cambiar significativamente su comportamiento (Mahbub et al., 2017, p.936-976). Además, como las moléculas de la materia orgánica la conforman grupos funcionales como los aminos, sulfhídrico, carboxilo y fenol, estos forman complejos estables con los iones del metal, generando que pierda movilidad en el agua y se deposite en el fondo del lecho acuático. Esto afecta la calidad del agua, suelo y el equilibrio de los ecosistemas por su alto grado de toxicidad (Dunham et al., 2015, p.1-10).

2.2. Tratamiento de aguas

El tratamiento de aguas residuales es la acción o conjunto de procesos unitarios físicos, químicos o biológicos que tienen la finalidad de reducir la contaminación presente en el agua y alcanzar los niveles definidos de calidad por las normativas nacionales e internacionales (Rojas, 2002, p.8-15). De este modo, existen las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que, según las características del agua a tratar, debe contar las siguientes etapas: análisis químico, pretratamiento, tratamiento primario, tratamientos biológicos y tratamientos terciarios (Miranda et al., 2018, p.63-74). Siendo estos, procesos necesarios para contar con un recurso natural de buena calidad y sin sustancias o partículas contaminantes, ya que es indispensable para la vida y la sostenibilidad de la naturaleza, pues una baja calidad puede generar un sin número de efectos o impactos negativos en la salud humana y los ecosistemas (Chulluncuy 2011, p.153-170).

2.2.1. Tratamiento de aguas convencionales

2.2.1.1. Filtración por membrana

Este tipo de tratamiento posee una alta eficiencia de remoción de materia en suspensión debido a que se emplea barreras físicas para la separación de las partículas del agua, no requiere de mucho espacio para operar, pero genera una gran cantidad de lodos con metales pesados como el Hg, cadmio y cobre dependiendo de las características del agua tratada (Roncancio, 2015, p.44). Por otra parte, la filtración por membrana se puede encontrar en varios procesos, como: electrodiálisis, fundamentada en remover iones metálicos con el uso de un campo eléctrico (Rubio et al., 2015, p.73-90); ósmosis inversa, consiste en el paso del agua por una membrana semipermeable a presión, lo que elimina los contaminantes en gran mayoría (Colotta, 2003, p.64-71); y por último, la nanofiltración, que consiste en el paso del agua residual por poros con un diámetro menor a 0,1 nanómetros (nm) bajo presión (Díaz, 2008, p.21-30).

2.2.1.2. Intercambio iónico

Consiste en la separación física de los iones que están integrados en el agua a través de una matriz que libera iones con carga diferente, por lo que netamente se separan los metales. Sin embargo, presenta un costo elevado ya que se debe emplear resinas que presenten características de intercambio iónico (Izquierdo, 2010, p.20-30). Otro punto es que, para remover metales pesados, se emplean resinas catiónicas junto con una matriz de poliestireno, la cual es cargada con grupos funcionales complejos. Dichas resinas, se agotan con el paso del tiempo, por lo que su regeneración se lleva a cabo con ácidos minerales y puede representar más costos en la operación.

Además, tiene una ventaja muy particular, ya que puede ser muy específica con el uso de una resina adecuada para remover un metal u otra sustancia objetiva en las aguas en proceso de tratado (Cortijo, 2013, p.221-238).

2.2.1.3. Precipitación química

Este proceso se caracteriza por centrarse en la separación de los iones metálicos como efecto de la reducción de la solubilidad de los metales en conjunto con el aumento del pH. Es así como el hidróxido de calcio es el reactivo con mayor eficacia ya que forma precipitados muy estables, además de ser capaz de desestabilizar coloides (Pabón et al., 2020, p.9-18). Este método es de fácil operación debido a que no hay la necesidad de ocupar equipos complejos ni personal calificado, pese a esto, es recomendable aplicar de forma rápida la mezcla del reactivo en conjunto con una reducción de la velocidad de agitación para una correcta precipitación de los metales en suspensión (Izquierdo, 2010, p.20-30).

2.2.1.4. Electrocoagulación

Este tipo de tratamiento usa energía eléctrica a través de placas metálicas para remover los contaminantes presentes en la solución, es decir, desestabiliza los contaminantes a causa de la inducción de la corriente eléctrica (Ruiz, 2005, p.49-56). De este modo, los contaminantes forman flóculos en el medio acuoso con la característica de ser hidrofóbicos, los cuales pueden precipitar y ser removidos con facilidad por cualquier método de separación. Se debe destacar que la corriente eléctrica genera la fuerza necesaria para permitir las reacciones químicas que logran desestabilizar los contaminantes, estas pueden estar suspendidas o también emulsificadas (Mollah et al., 2001, p.29-41).

2.2.1.5. Coagulación-floculación

Es uno de los tratamientos fisicoquímicos más utilizados, ya que permite que las cargas, por lo general negativas del contaminante, sean desestabilizadas a través de una neutralización, esto se lleva a cabo por medio de la adición de sales que luego se forman en flóculos, los cuales son aglomerados formados por la reducción de cargas (Lorenzo, 2006, p.10-17). Por un lado, la coagulación desestabiliza los coloides generando una desestabilización, mientras que la floculación, forma y aumenta el volumen de los flóculos. No obstante, hay que considerar que, en este tratamiento, surge la necesidad de aumentar el área del sedimentador y el empleo de tiempos de residencia altos, debido a la velocidad baja que tienen las partículas para sedimentarse, sin embargo, se concluye con una clarificación efectiva (Miranda et al., 2018, p.63-74).

2.2.2. Tratamiento de aguas no convencionales

2.2.2.1. Fitorremediación

La fitorremediación se enfoca específicamente en la aplicación de especies netamente vegetales para la remoción de los contaminantes debido a que poseen la capacidad fisiológica y bioquímica para realizar los procesos de absorción y retención de los metales pesados, aun así, el inconveniente que presenta es que la planta debe realizar solamente una vez el tratamiento (Vélez, 2007, p.57-71). Además, este tratamiento emplea plantas que pueden ser flotantes o sumergidas en el agua, pero la transformación de los contaminantes debe realizarse monitoreando y controlando los parámetros de: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y sólidos totales (SST) (Araque et al., 2018, p.37-48).

2.2.2.2. Biorremediación

El tratamiento por biorremediación se vincula directamente con la aplicación de procesos biológicos para la remoción de los contaminantes en el agua, se caracteriza por ser muy eficiente a diferencia de procesos físicos o químicos, además es de bajo costo (Ferrera et al., 2006, p.179-187). Sin embargo, es un proceso que requiere de largos periodos de tiempo, debido a que dependerá de las condiciones ambientales del organismo remediador y de la cantidad o concentración del contaminante metálico, por tal razón, se suele aplicar microalgas, bacterias y hongos (Montenegro et al., 202, p.1-14). Cabe destacar que los microorganismos deben tener mecanismos bioquímicos como: bioacumulación y volatilización, precipitación química y simbiótica y unión a metales (Beltrán y Gómez, 2016, p.172-197).

2.2.2.3. Biopolímeros

El tratamiento a través de biopolímeros consiste en la adsorción de los contaminantes, estos pueden ser la celulosa, restos de peces, la hulla, huesos de animales, quitina o quitosano (Montúfar et al., 2019, p.12-13). Dicho esto, el proceso se da gracias a la gran variedad de los grupos funcionales que presentan los biopolímeros, como la amina, esto permite que adsorban iones metálicos, neutralizando las cargas de los contaminantes y se vea reflejado en concentraciones bajas (partes por billón) (Barakat, 2011, p.361-377).

2.3. Nanotecnología

La nanotecnología es el conjunto, tanto de ciencias como de tecnologías, empleadas al control y manipulación de la materia a una escala nanométrica en el rango de 1 a 100 nm, donde la materia posee características fisicoquímicas diferentes que a escala micro o macro (Castañeda y Záyago, 2016, p.1-9). Esto ha generado que varios campos de la ciencia la puedan aplicar dependiendo de las necesidades a resolver, tal como se describe en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Principales aplicaciones de la nanotecnología

Campo	Nanomateriales	Usos
Textil	Estructuras nanométricas	Tejidos, indumentarias e hilados
Medicina	Medicamentos nano encapsulados, nano robots	Terapias y diagnósticos
Productos farmacéuticos	Nanomateriales orgánicos, semillas nano encapsuladas	Ganadería y agricultura
Ambiental	Nanopartículas	Tratamiento de agua, aire y suelo

Fuente: (Calcina y Moreno, 2020, p.7)

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

2.3.1. Nanotecnología en el tratamiento de aguas

El tratamiento de aguas se ha visto involucrado con el uso de las nanotecnologías, ya que se incorporan en la etapa primaria donde se adicionan reactivos químicos que logran modificar la estructura química de los contaminantes para su remoción. Las nanopartículas ofrecen, dependiendo de sus características, acelerar los procesos y obtener mayor eficacia (Hulla et al., 2015, p.1318-1321). De este modo, la nanotecnología surge como una alternativa potencial, ya que su aplicación puede potenciar tratamientos convencionales, como la coagulación – floculación, sin embargo, existen riesgos considerados como inherentes debido a que el recorrido y destino de las nanopartículas en ocasiones es incierto a causa de su tamaño (Foladori, 2012, p.143-180).

Las nanopartículas con mayor uso destinadas al tratamiento de aguas es el nanohierro en su forma de cerivalente, nanohierro núcleo – cáscara y emulsiones de nanohierro: Lo cual, desde un punto de vista práctico, puede emplearse como reactivo, catalizador y paramagnético (López et al., 2007, p.39-50; Goddío y López, 2018, p.15-22). De este modo, el empleo de nanopartículas metálicas, como el

hierro cerovalente y la magnetita, han centrado la atención de las investigaciones, ya que se han utilizado para remover diversos tipos de contaminantes como: compuestos recalcitrantes, los cuales constituye los hidrocarburos clorados y aromáticos nitrados; y metales pesados, como el uranio, Hg y arsénico (Morgada et al., 2009, p.261-268).

2.3.1.1. Magnetita

La magnetita es una representación del óxido mixto de hierro, su fórmula química es Fe_3O_4 , el cual se constituye de un 72,46 % de hierro y un 27,60 % de oxígeno, misma que se representa gráficamente como una espinela inversa (Ilustración 1-2), con características químicas como el ferromagnetismo con una densidad de 5,20 gramos/centímetros cúbicos (g/cm^3) (Noval et al., 2017, p.42-59). Este compuesto puede ser sintetizado o encontrarse de forma natural en rocas ígneas y metafórmicas cristalinas. Las mayores reservas se encuentran en Noruega, Rusia, Rumania, Siberia, Suecia y África del sur (Alvear et al., 2017, p.61-66).

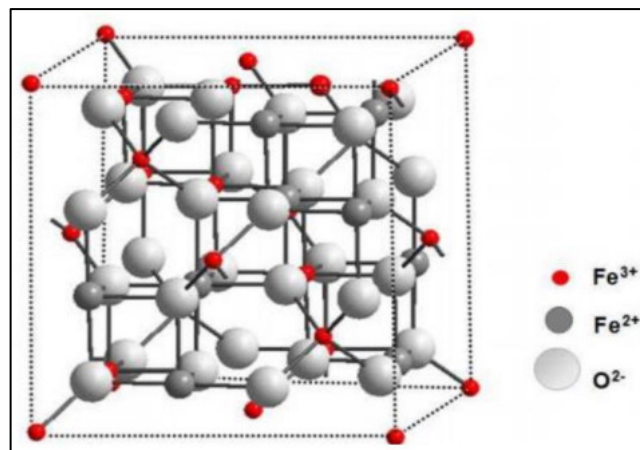


Ilustración 1-2: Estructura de Fe_3O_4

Fuente: (Calcina y Moreno, 2020, p.7)

Este compuesto posee las ventajas de ser estable en reacciones, presentar baja toxicidad y su fácil síntesis. Por ende, su aplicación se ve diversificada en muchos campos como la medicina, industria y especialmente, el área ambiental para los procesos de adsorción de contaminantes en el tratamiento de aguas (Rodríguez, 2012, p.22-28). Por otra parte, puede dispersarse en un medio poroso, permitiendo a su vez que se difunda en la superficie del contaminante, razón por la cual, proporcionan una mayor área de superficie y son aplicadas ampliamente en la remoción de metales pesados (Cheng et al., 2012 p.451-457). Cabe mencionar que, con la finalidad de preservar sus características químicas, en algunos parámetros contemplados para la síntesis de la magnetita, se debe considerar la concentración inicial de los reactivos, temperatura, tiempo, velocidad de agitación y el pH de la solución. (Picasso et al., 2012, p.170-182).

En este sentido, la magnetita en conjunto con diversas sustancias sintetizadas ha sido empleada en varios estudios específicos para la remoción de metales pesados, donde se ha obtenido eficiencias de más del 90%. Algunos de estos, se visualizan en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Evidencias de aplicación de la magnetita con diferentes compuestos

Adsorbente	Metal pesado	Concentración (mg/L)	Dosis (g/L)	Remoción (%)
Cáscara de naranja + Fe ₃ O ₄	Cadmio	16	0,20	82
Residuos de té + Fe ₃ O ₄	Níquel II	100	0,60	94
Laurel + Fe ₃ O ₄				98,95
Canelo + Fe ₃ O ₄	Zinc	50	7	98,80
Eucalipto + Fe ₃ O ₄				97,61

Fuente: (Cabrera, 2020, p.62)

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

2.3.2. Coagulantes – floculantes químicos

2.3.2.1. Sulfato de aluminio - Al₂(SO₄)₃

Es el más empleado debido a su fácil producción, no es costoso, ni es de difícil manipulación y es conocido como alumbre. Sin embargo, su pH es muy limitado para ser óptimo, por lo cual surge la necesidad de ser controlado y que esté entre 6 y 8 (Renault et al., 2009, p.1337-1348). Por otra parte, no tiene gran eficiencia en aguas con un alto contenido de carga contaminante, por lo que se emplea más en el tratamiento para agua potable ya que no necesita aditivos, aunque si no es bien manipulado, llega hacer altamente nocivo si se inhala (Núñez, 2018, p.18).

2.3.2.2. Policloruros de aluminio- Al_n(OH)_mCl_(3n-m)

Estos compuestos químicos se caracterizan por poseer grandes ventajas en comparación con el sulfato de aluminio, ya que no requieren de un ajuste o control del pH de un intervalo tan corto, además, la velocidad a la que reacciona es mayor y se aplica en menos dosis (Miranda et al., 2018, p.63-74). No obstante, es costoso y se debe tomar en cuenta que, cuando el pH sobrepasa a 8,5, no actúa como un coagulante eficaz, pese a esto, es muy usado en aguas blandas porque reduce de forma eficaz la turbidez y DQO (Torra et al., 1998, p.9).

2.3.2.3. Cloruro férrico - Fe_2Cl_3

El cloruro férrico posee un intervalo de pH muy amplio de aplicación, el cual está entre 4 y 12, además, se caracteriza por tener un alto nivel de consumo de alcalinidad, aunque deja un color característico al agua luego de ser tratada (Miranda et al., 2018, p.63-74). Este compuesto, es usado en plantas de tratamiento para agua potable y agua residual debido a su alta eficiencia de remoción, tanto de materia orgánica como de metales pesados (Chávez y Alpaca, 2014, p.49).

2.3.2.4. Sulfato férrico - $Fe_2(SO_4)_3$

Es uno de los coagulantes más baratos en el mercado, tiene una velocidad elevada de reacción y posee un óptimo intervalo de pH entre 3,5 y 7 (Miranda et al., 2018, p.63-74). No obstante, posee la desventaja de dejar un color característico en el agua, a pesar de que la dosis es mayor a diferencia con los otros coagulantes – floculantes, es muy soluble en el agua y puede reaccionar con materiales alcalinos, lo que aumenta la eficacia de remoción (Baca y Moore, 2016, p.23).

2.3.2.5. Aluminato de sodio – $NaAlO_2$

Este tipo de coagulante se caracteriza por ser un sólido cristalino con un color blanco, el cual se utiliza principalmente en el tratamiento de aguas residuales ya que tiene una gran capacidad de floculación y eliminar fosfatos y la sílice, así como de remover metales pesados (Páez y Madroñero, 2010, p.16-24). Cabe destacar, que no es una sal ácida, por lo que no genera una reducción del pH, esto evita la agregación de un álcali para enmendar problemas en el proceso de coagulación – floculación (Cogollo, 2011, p.18-27).

2.3.3. **Coagulantes – floculantes naturales**

2.3.3.1. *Cactus (Opuntia ficus-indica)*

El cactus se caracteriza por ser una planta arbustiva que crece en climas áridos, sus tallos son planos de color verde y ovalados. La sustancia que se emplea como coagulante, es su mucílago, que se lo obtiene cortando la corteza y las espinas de la planta, el cual es aplicado como clarificante en aguas crudas y residuales con un comportamiento semejante al sulfato de aluminio. El porcentaje que ha demostrado de remoción es del 83 %, por lo que es una alternativa ante los coagulantes químicos, puesto que se reduce el uso de estos (Verbe et al., 2014, p.70-75).

2.3.3.2. *Jatrofa (Jatropha curcas)*

Es una planta originaria de Centroamérica y ha sido utilizada como coagulante y desinfectante en aguas con un pH menor a 7, lo que resulta como coagulante son sus semillas que se obtienen a través del descascarado, secado y triturado. En pruebas de laboratorio, ha presentado una remoción de las partículas en suspensión de un 86 % y una reducción de la demanda química de oxígeno cercano a un 78 %, sin embargo, esta puede aumentar si se lo mezcla con otras sustancias químicas, como el hidróxido de calcio (Quinteros y Rodríguez, 2018, p.68-82).

2.3.3.3. *Campanilla (Ipomoeae incarnata)*

Esta planta se encuentra en climas tropicales de los continentes americano y africano, se caracteriza por ser una especie enredadera, la cual se cultiva para alimentación ya que sus raíces poseen un gran nivel de contenido energético. Su sustancia coagulante proviene de las semillas, las cuales deben pasar por un proceso de secado y triturado hasta transformarla en un polvo fino, de este modo, la eficacia que presenta para la remoción de turbidez en aguas residuales industriales es del 99 % (Cabrera et al., 2018, p.94-99).

2.3.3.4. *La Moringa (Moringa oleífera)*

Esta especie vegetal tiene sus orígenes en los hábitats tropicales de la India, la sustancia coagulante que presenta es una proteína catiónica hidrosoluble, la cual desestabiliza las partículas contaminantes en el agua. Motivo por el cual, ha sido muy empleado como coagulante por poseer propiedades similares a la del sulfato de aluminio. No obstante, al ser natural, no modifica las propiedades químicas del agua, por lo que no presenta afectaciones al medio ambiente y a la salud humana (Arreola y Canepa, 2013, p.93-101).

2.3.3.5. *El frijol común (Phaseolus vulgaris)*

Es una de las especies comunes más cultivadas con fines alimenticios y es originaria de México, la sustancia coagulante de esta planta son sus semillas, las cuales pasan por un proceso de secado y pulverizado. Es así como ha sido utilizada en tratamientos de agua con alta turbidez, como el agua cruda. Sin embargo, es necesario mencionar que, en aguas con un pH de 9, su eficacia se ve altamente afectada, a diferencia de aguas con un pH 10, donde actúa con la máxima capacidad de remoción, siendo de un 47,7 % (Antov et al., 2010, p.2167-2172).

2.3.3.6. *Hediondilla (Cassia obtusifolia)*

Esta planta también conocida como la mala hierba tiene sus orígenes en el continente americano, sus semillas, al ser secadas y trituradas, han sido aplicadas para tratar aguas residuales con altos niveles de SST, obteniendo una eficacia de un 86,2 % (Subramonian et al., 2014, p.317-324). La alta eficacia es producto de la sinergia de la adsorción y de los puentes de hidrógeno que presenta su semilla, sin embargo, la temperatura es un factor que debe ser controlado ya que, a altas temperaturas, los flóculos pueden romperse, lo que reduce su tamaño y volumen de remoción (Bhatia et al., 2007, p.120-126).

2.3.3.7. *Piñón manso (Jatropha curcas)*

Es una planta conocida perteneciente a la familia Euphorbiaceae. Lo que se usa de esta planta para el tratamiento de aguas residuales son las semillas y los residuos luego de la extracción de su aceite ya que tienen activos que exhiben una excelente actividad coagulante – floculante y desinfectante. Cabe mencionar que, para la extracción de dichos agentes, se usan semillas sin cáscara, las cuales son pulverizadas y mezcladas con diferentes disolventes como el NaCl, NaOH y agua destilada. Motivo por el cual, se debe tener en cuenta la dosis correcta, el pH y la temperatura del agua residual al momento de utilizarla (Abidin et al., 2011, p.971-977).

2.3.3.8. *Okra mucilago (Abelmoschus esculentus)*

Es una planta nativa de África que se ha situado en países tropicales y subtropicales perteneciente a la familia Malváceae. La goma que contiene la planta es lo que se usa como coagulante natural ya que presenta buenos resultados en cuanto al tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria textil. Esta planta se la emplea debido a que está compuesta de polisacáridos conformadas por D-galactosa, L-ramnosa y L-ácido galacturónico solubles en agua, lo que desestabiliza suspensiones coloidales y reduce a su vez la turbidez (Freitas et al., 2015, p.538-544) .

2.3.3.9. *Zaragatona (Plantago psyllium)*

Es una planta perteneciente a la familia Plantaginácea, lo que se usa de esta planta es la cáscara de sus semillas debido a que es un polímero que contiene polisacáridos aniónicos de L-arabinosa, D-xilosa y D-ácido galacturónico, los cuales actúan como coagulantes para la reducción de contaminantes en aguas residuales. Por otra parte, su mecanismo de coagulación se basa en la neutralización de la carga, ya que llevan carga negativa, lo que atrae electrostáticamente a las partículas con carga positiva que son las coloidales (Wang et al., 2002, p.153-159).

2.3.3.10. *Haba (Vicia Faba)*

Es una planta perteneciente a la familia Fabácea, misma que ha sido un cultivo muy antiguo con un alto valor nutricional, lo que se usa de esta planta son las semillas enteras debido a su gran concentración de proteínas, ácido fítico y fenoles totales, las cuales deben ser molidas para ser sometidas a extracción mediante agua destilada y una solución de 1 M de NaCl. De esta forma, pueden actuar como coagulante – floculante para la reducción de la turbidez de aguas residuales (Rajput et al., 2012, p.86-99).

2.4. Cacao – CCN – 51 (*Theobroma cacao L.*)

2.4.1. *Caracterización de cacao – CCN – 51*

Es una planta que tiene su origen en los climas tropicales del continente americano, crece hasta ocho metros de altura y se caracteriza por su dimorfismo en las ramas. Es un árbol que necesita indispensablemente calor y humedad, sin embargo, requiere protección del viento, sombra y un suelo poroso y nutritivo (Oblitas, 2015, p.3-13). Por otra parte, su fruto al ser una mazorca contiene alrededor de cuarenta a cincuenta granos, las cuales están rodeadas de una pulpa que se forma dentro a causa del integumento externo, mismo que puede llegar a ser comestible (Souza et al., 2018, p.69-76). Dicho esto, es necesario conocer su taxonomía, la cual se detalla en la Tabla 6-2, a continuación:

Tabla 6-2: Taxonomía del Cacao – CCN – 51 – *Theobroma cacao L.*

Clasificación taxonómica del Cacao – CCN – 51 –	
<i>Theobroma cacao L.</i>	
División	Espermatofita
Clase	Angiosperma
Subclase	Dicotiledónea
Orden	Malvades
Suborden	Submalvades
Familia	Esterculiáceas
Tribu	Bitneria
Género	Theobroma
Especie	cacao
Nombre científico	<i>Theobroma cacao L.</i>

Fuente: (Batista, 2009, p.13)

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

2.4.1.1. Morfología

La morfología hace referencia a la estructura externa que componen a la planta, en este sentido, para la especie *Theobroma cacao L.*, se presenta las siguientes características morfológicas en la Tabla 7-2, a continuación:

Tabla 7-2: Morfología del Cacao – CCN – 51 – *Theobroma cacao L.*

Morfología del Cacao – CCN – 51 – <i>Theobroma cacao L.</i>	
Raíces	De tipo pivotante, longitudes de 1,5 a 2 metros.
Tallo	Crece de forma vertical hasta que es interrumpida por ramas secundarias entre los 12 y 15 meses.
Hojas	Tienen forma de limbo y puede ser elíptica u ovada con peciolo
Flores	De color rosa, blanca y púrpura, son hermafroditas y tienen forma de estrella.
Frutos	Compuesto por una mazorca, con alrededor de 50 granos en su interior.

Fuente: (García, 2019, p.12-16)

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

2.4.1.2. Partes del fruto

El fruto del cacao, que se lo conoce comúnmente como mazorca o botánicamente como una baya, está compuesta por cuatro partes, mismas que se describen en la Tabla 8-2, a continuación:

Tabla 8-2: Partes del fruto de Cacao – CCN – 51 – *Theobroma cacao L.*

Partes del fruto de Cacao – CCN – 51 – <i>Theobroma cacao L.</i>	
Cáscara de cacao	Mide aproximadamente entre 15 a 25 centímetros, con un grosor de 7 a 10 centímetros. Es uno de los residuos más importantes durante su cosecha, ya que representa alrededor del 80 % al 90% del volumen del fruto.
Mucílago	Se caracteriza por ser carnosa y viscosa, posee un color cremoso y es comestible, esta envuelve a los granos en el interior de la mazorca.
Granos	Tienen un tamaño muy variado entre 1, 2 y 3 centímetros de distintos aromas, sabores y grados de acidez. En su interior se encuentran los cotiledones que pueden ser de un color morado.
Cascarilla del grano	Aporta todo los micro y macronutrientes, sin embargo, es una baja fuente de energía.

Fuente: (García, 2019, p.12-16)

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

2.4.2. Situación del cacao en el Ecuador

La producción de cacao se encuentra íntegramente vinculado a los ecosistemas y condiciones que se presentan en el país, lo cual determina el rendimiento de producción. El cacao ha generado empleos e ingresos a miles de familias campesinas y ha establecido el desarrollo de la economía y grandes exportaciones de los productos que se obtienen de la mazorca (Montoya, 2012, p.37). El país en el año 1911 llegó a ser uno de los mayores exportadores en el mundo, representando el 20% del total a nivel mundial, motivo por el que se denominó como la era de la "pepa de oro". Sin embargo, a partir de la fecha indicada, sufrió una disminución por las nuevas competencias, a pesar de aquello, siempre ha marcado una tendencia ascendente (Pérez, 2009, p.44-45).

En este sentido, el cacao se comporta como uno de los principales productos del Ecuador en ser exportados. El fruto, es cultivado en 21 provincias del territorio y ocupa alrededor de 601 000 hectáreas (ha), además, el precio por tonelada de cacao se sitúa entre los 2 400 y 3 000 dólares americanos (Cobos, 2021, p.2) . Por otra parte, en la cosecha durante el periodo 2020 – 2021, según la Asociación Nacional de Exportadores de Cacao (Anecacao), alcanzó una producción alrededor de 365 000 t, reflejándose en 993 millones de dólares americanos, pero también representa una cantidad de residuos generados muy importante (EL UNIVERSO, 2022, párr.3).

Adicional, las exportaciones totales de cacao en el periodo 2014 – 2018, según el reporte de Ochoa (2019, p.6-7) (Tabla 9-2; Ilustración 2-2), el año en el que mayor volumen se exportó fue en 2018, con 315 571 t, seguido del año 2017, con un total de 301 526 t, no obstante, el año con menor exportación fue el 2014, con apenas 234 277 t. Si bien es cierto que representa ganancias relativamente altas, también se repercute en la generación de residuos según la producción generada y exportada cada año, a lo que no se hace mucho énfasis en la actualidad.

Tabla 9-2: Exportaciones de cacao periodo 2014 – 2018

EXPORTACIONES DE CACAO/TONELADAS					
Meses	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	14573	25582	22585	26416	20573
Febrero	16737	25035	23165	22398	15488
Marzo	17878	26155	19396	27986	20990
Abril	19474	16454	13164	18879	20449
Mayo	16841	15169	13305	16955	17720
Junio	14829	15749	16782	16056	18785
Julio	16247	15065	12445	20384	18645
Agosto	15800	19405	13228	28622	25212
Septiembre	20350	20903	17731	29084	32091
Octubre	19873	23380	28972	37316	48102

Noviembre	25824	26276	36381	33848	41820	
Diciembre	35842	31368	32478	23582	35695	
TOTAL	234268	260541	249632	301526	315570	
Variación	11%		-4%		21%	
	2014 - 2015		2015 - 2016		2016- 2017	
	2017-2018					

Fuente: (Ochoa, 2019, p.6-7)

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

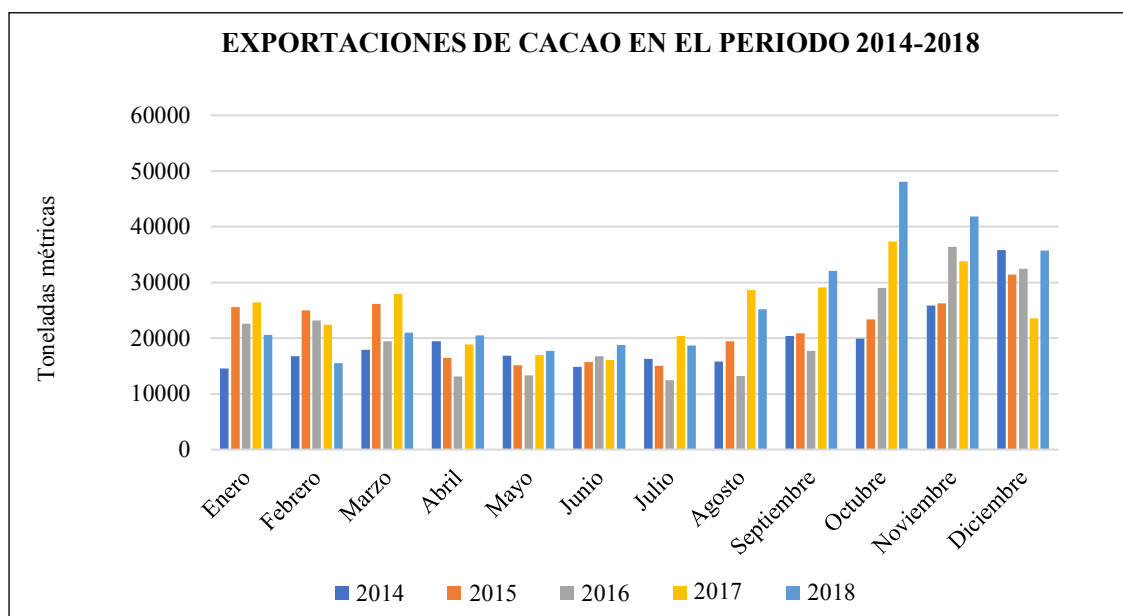


Ilustración 2-2: Exportaciones de cacao en el periodo 2014 – 2018

Fuente: (Ochoa, 2019, p.6-7)

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

2.4.3. Revalorización de residuos

2.4.3.1. Cascarilla de la pepa de cacao

La cascarilla es un subproducto del proceso industrial de la gran producción de cacao, la cual ha sido usada muy poco al ser considerada como un desecho (Arlorio et al., 2005, p.1009-1014). No obstante, la gran cantidad de proteína presentada por la cascarilla al ser transformada en cenizas contiene concentraciones de sodio al 7 %, potasio al 35 % y carbonato de sodio al 33%, esto la convierte en factible para ser empleada en la producción de jabones, aplicación en alimento para animales y como materia prima para la producción de fertilizantes (Ntiamoah y Afrane, 2008, p.1735-1740). Por otra parte, el contenido de fibra que presenta este residuo es aproximadamente tres veces más que el residuo generado por las semillas, lo que constituye más del 50% de la composición total, como residuo reutilizable (Okiyama et al., 2017, p.103-112).

2.4.3.2. Cáscara de cacao.

La cáscara de cacao constituye alrededor del 80 % al 90 % del volumen de residuo, sin embargo, ha presentado resultados positivos al ser reutilizado en el tratamiento de aguas residuales como coagulante natural biodegradable para la remoción de turbiedad y sólidos suspendidos. A pesar de que, la velocidad de agitación es un factor clave para su eficacia, tiene resultados de alrededor del 90 % (Daviran, 2021, p.61). Adicional, la reducción de las partículas se debe a causa del uso de las moléculas de alumbre electropositivas, las cuales neutralizan la carga negativa de dichas partículas, lo que mejora la floculación y la sedimentación (Sierra et al., 2019, p.131-138). Esto demuestra que se puede aprovechar los residuos del cacao ya que presentan características que benefician, mediante tecnología e ingeniería, usos en los diversos campos de investigación que mejoren las condiciones ambientales y sociales.

2.5. Prueba de jarras

La prueba de jarras también conocida como test de jarras, es un método donde se simula los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio con la finalidad de obtener agua de excelente calidad (Daviran, 2021, p.39). En este tipo de pruebas se utilizan variaciones en las dosis del coagulante – floculante en cada jarra que, por lo general, se usan equipos con seis jarras, esto permite la reducción de turbiedad y materia orgánica del agua. Por otra parte, permite realizar ajustes en el pH en cada una de las jarras hasta obtener los mejores resultados, así como cambiar la velocidad de la mezcla (Fúquene y Yate, 2018, p.5).

2.5.1. Variables en la prueba de jarras

2.5.1.1. pH

Es una de las variables que más influye en los procesos de coagulación y floculación ya que, si se realiza las pruebas en un rango que no es el óptimo, la solubilidad del coagulante tiende a disminuir, por lo que se vuelve necesario concentraciones más altas de este y tomará más tiempo para que se formen los flóculos (Domínguez, 2010, p.14-16).

2.5.1.2. Agitación y mezcla

La agitación determina la eficiencia de los procesos y que las concentraciones sean uniformes, mientras que la mezcla, a través de la intensidad y tiempo, determina una correcta distribución del coagulante – floculante en la solución (Tafur y Quevedo, 2014, p.45).

2.5.1.3. Turbiedad

La turbiedad del agua aumenta conforme se aumenta la concentración del coagulante – floculante, por lo cual, para cada turbiedad existe una dosis adecuada. No obstante, si la turbiedad es demasiado alta, las dosis del coagulante – floculante disminuyen, mientras que, si la turbiedad es muy baja, se requieren dosis altas de coagulante – floculante debido a la menor probabilidad de choque entre los coloides (Domínguez, 2010, pp.14-16).

2.5.1.4. Temperatura del agua

La temperatura es una de las variables más importantes ya que afecta directamente a la densidad del agua, su aumento modifica la energía cinética de los coloides, lo cual hace que los procesos sean más lentos, en tanto que, a temperaturas bajas, aumenta la viscosidad del agua, dificultando la sedimentación de los flóculos (Gómez, 2005, p.48).

2.5.1.5. Tamaño de las partículas

El tamaño de las partículas influye directamente en la formación de los flóculos ya que, si son muy pequeñas, es necesario la adición de mayor dosis de coagulante – floculante, en cambio, si son muy grandes, se dificulta la formación de aquellos porque la reacción se vuelve más lenta (Restrepo, 2009, p.9).

2.5.1.6. Dosis del coagulante – floculante

La dosis más adecuada y óptima se determina a través de la prueba de jarras ya que, si se añade a la solución una dosis muy baja, la neutralización de las cargas no se realiza en los coloides y se forman en baja cantidad, mientras que, a una dosis muy alta, se forman flóculos muy pequeños, los cuales se prolongan demasiado la sedimentación (Tafur y Quevedo, 2014, p.45).

2.6. Análisis de la varianza (ANOVA)

Es un método estadístico empleado para la comparación de medias de dos o más poblacionales. Es decir, es una metodología para el estudio y análisis de la variación de las muestras y el efecto de varios factores sobre las mismas. No obstante, para ser aplicada a cualquier investigación, las muestras deben ser poblaciones normales y las varianzas poblacionales iguales (Gamarra et al., 2015, p.264). En este sentido, se debe tener claro la variable dependiente a estudiar y las variables

independientes que definen a los grupos para que sean comparados. Adicional, se suele trabajar con una significancia $< 0,05$ para aceptar la hipótesis alternativa y rechazar la hipótesis nula. En el caso de aceptar la hipótesis nula, se realiza pruebas de contrastes (Rubio y Berlanga, 2012, p.88).

2.7. Marco legal

Esta sección abarcará normativa, tanto internacional como nacional, con respecto al límite máximo permisible de concentración de mercurio en agua dulce.

2.7.1. Normativa internacional

2.7.1.1. Organización Mundial de la Salud

La Organización Mundial de la Salud (OMS) tiene la finalidad de determinar los niveles máximos de salud, por lo que ha establecido el nivel de Hg descrito en la Tabla 10-2.

Tabla 10-2: Límite máximo permisible de mercurio en aguas según la OMS

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Mercurio total	Hg	mg/L	0,001

Fuente:(Truque, 2006, p.11)

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

2.7.1.2. España

De acuerdo con el Real Decreto 817 del 11 de septiembre de 2015, dentro del ANEXO IV, se indica el límite máximo permisible de Hg y sus derivados en la Tabla 11-2.

Tabla 11-2: Límite máximo permisible de mercurio en aguas superficiales en España

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Mercurio y sus compuestos	Hg	mg/L	0,007

Fuente:(BOE, 2015, p.72)

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

2.7.1.3. Estados Unidos de América (EUA)

Es uno de los países que permite un valor superior de concentración de Hg en los cuerpos de agua en comparación con lo establecido por la OMS. Su normativa, ha determinado el límite máximo permisible descrito en la Tabla 12-2.

Tabla 12-2: Límite máximo permisible de mercurio en aguas superficiales en EUA

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Mercurio total	Hg	mg/L	0,002

Fuente:(BOE, 2015, p.72)

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

2.7.2. Normativa nacional

2.7.2.1. Constitución del Ecuador 2008

Se constata con claridad la protección de los recursos en el Ecuador de acuerdo con la Constitución Nacional del Ecuador con el Registro Oficial 449 del 20 de octubre de 2008, modificado por última vez el 25 de enero de 2021, donde se establece que:

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos (Constitución del Ecuador, 2021, p.160).

2.7.2.2. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)

El TULSMA, con Registro Oficial Nro 387 del 4 de noviembre de 2015, se contempla como uno de los mecanismos de acción más importantes del país con respecto a la calidad de agua, definiendo a la misma en el siguiente Artículo:

Art. 209.- De la calidad del agua. - Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua y la hacen apta para satisfacer la salud, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico (TULSMA, 2015, p.226).

En relación con lo mencionado, esta normativa instituye los criterios de calidad de agua acorde al uso. Por lo que, para la presente investigación se enfoca en el límite máximo permisible de concentración de mercurio en las descargas a un cuerpo de agua dulce (Tabla 13-2).

Tabla 13-2: Límite máximo permisible de mercurio en descargas a un cuerpo de agua dulce

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	Normativa
Mercurio total	Hg	mg/L	0,005	Acuerdo Ministerial N° 097 / Tabla 9 / ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TULSMA

Fuente: (TULSMA, 2015, p.26)

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El diseño del presente proyecto de investigación es experimental debido a la manipulación de la variable independiente, la cual es la dosis de la solución coagulante a base de la cáscara de cacao – CCN – 51 (*Theobroma cacao L.*) con NPMs. Además, es de tipo aplicada puesto que se relaciona directamente con la investigación debido a la dependencia de sus descubrimientos y aportes para la mejora de los procesos de coagulación – floculación en el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio.

3.1. Compuestos, materiales y equipos

Los compuestos, materiales y equipos usados en el presente proyecto de investigación se detallan a continuación en la Tabla 1-3:

Tabla 1-3: Compuestos, materiales y equipos utilizados

Compuestos	Materiales	Equipos
Nitrato de mercurio $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$	2 balones aforados de 1000 mL y 200 mL	2 equipos de prueba de Jarras: modelo JF4-719-019 de la marca Yareth Químicos LTDA y ET 730 de la marca Loviband
Ácido Nítrico (HNO_3)	1 espátula, embudo y vidrio reloj	1 turbidímetro modelo 43900-00 de la marca Hach Company
Etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$)	7 vasos de precipitación de 1 L y 10 de 50 mL	1 pHmetro modelo HI 9023 de la marca Hanna Instruments
Agua destilada	1 probeta de 25 mL	1 multiparamétrico modelo PC 2700 de la marca Oakton
NPMs	2 pipetas de 10 mL y 5 mL	1 balanza analítica modelo Bas 31 Plus de la marca Boego Germany
	1 pera de succión	2 estufas: modelo 315 SE de la marca Fanem y UF110 de la marca MEMMERT
	21 pipetas Pasteur y 21 tubos de ensayo	1 espectrofotómetro de infrarrojo modelo FT/IR-4100 de la marca JASCO
	3 tamices con un diámetro de apertura de 426.92, 258.21 y 76,95 μm	1 espectrofotómetro de adsorción atómica modelo CE 3000 Series de la marca AA Spectrometer
	18 botellas de vidrio de 1 L	1 microscopio electrónico de barrido modelo Vega 3 de la marca Tescan
	7 imanes de neodimio	1 molino manual

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

3.2. Obtención del polvo de la cáscara de cacao – CCN – 51 (*Theobroma cacao L.*)

Para la obtención del polvo se aplicó y modificó el método seco usado por Conde y Dominguez (2021, p.47-50) en su Trabajo de Titulación para la extracción del almidón de la cascara de *Theobroma cacao L.*, siguiendo los siguientes pasos:

Selección y obtención: Las cáscaras de *Theobroma cacao L.*, se seleccionaron apartando los frutos que presenten deterioro. Dicho esto, se obtuvo aproximadamente 10 kg de cáscara de la postcosecha en la finca “Carvajal” ubicada en la comunidad Flor de Manduro, la cual pertenece a la parroquia Puerto Francisco de Orellana (El Coca), cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana.

Lavado: Las cáscaras se lavaron con agua corriente para la remoción de impurezas presentes en las mismas.

Predeshidratación: Debido a que las cáscaras poseen bastante humedad, fue necesario secarlas de forma indirecta con acción del sol por 48 horas. La temperatura ambiente de secado rondó entre los 20 a 40 °C.

Deshidratación: Posterior al paso de predeshidratación, las cáscaras aún poseen humedad, por lo cual se las pasó a una estufa a una temperatura de 210 grados centígrados (°C) durante 1 hora.

Triturado y Molienda: Las cáscaras fueron cortadas en trozos pequeños antes de ser introducidas al molino con la finalidad de obtener polvo, es decir, reducir el tamaño no deseado de ciertos trozos.

Secado: La masa obtenida fue secada en una estufa a una temperatura de 100 °C por un tiempo de 30 minutos, con la finalidad de eliminar cualquier resto de humedad. El objetivo de este proceso es obtener polvo totalmente seco para preparar la solución coagulante (Conde y Dominguez, 2021, p.47-50).

Tamizado: El polvo secado fue tamizado, esto se realizó con tamices de un diámetro de apertura de 426,92, 258,21 y 76,95 micrómetros (µm), con la finalidad de obtener las partículas más pequeñas posibles. La cantidad obtenida fue de 207,36 g. Finalmente, se preparó la solución coagulante con 10 g del almidón en 1 000 mililitros (mL) de agua destilada.

En la Ilustración 1-3, por medio de un diagrama de flujo, se detallan los pasos previamente mencionados para una mejor comprensión:

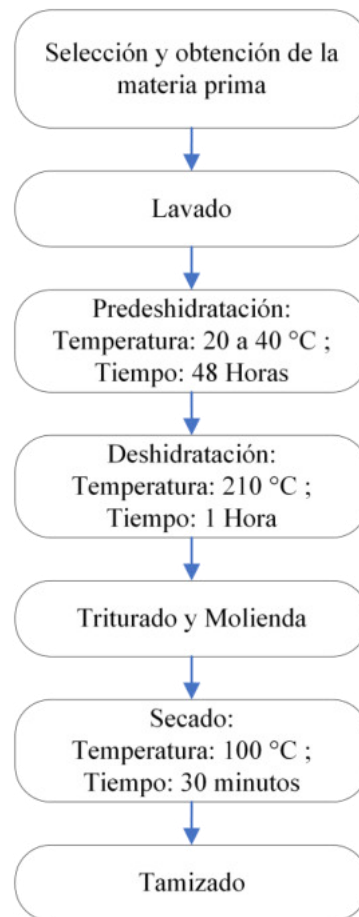


Ilustración 1-3: Diagrama de flujo para la obtención del polvo de la cáscara de cacao

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

3.3. Caracterización del coagulante - floculante natural y las NPMs

La caracterización del coagulante – floculante natural y de las NPMs, para determinar composición y tamaño de las partículas, se realizó mediante espectroscopía infrarroja y microscopía electrónica de barrido, respectivamente.

3.3.1. Espectroscopía Infrarroja (IR)

Esta técnica de caracterización se realizó mediante el equipo Espectrofotómetro de Infrarrojo modelo FT/IR-4100 de la marca JASCO para determinar los grupos funcionales tanto del polvo de coagulante – floculante natural como de las NPMs, donde se colocaron aproximadamente 0,5g en el porta muestra del equipo. Cabe mencionar que fue muy importante alinear el cristal para que el rango de luz atravesase adecuadamente la solución. Además, se usó el software “Spectra

Manager” para realizar las lecturas, capturas y procesamiento de datos que se obtuvieron (Toala, 2019, pp.46-47).

3.3.2. Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

Esta técnica se realizó a través del equipo microscopio electrónico de barrido modelo Vega 3 de la marca Tescan para realizar análisis estructurales, tanto para el polvo del coagulante – floculante natural como para las NPMs. En uno de los porta muestras del mismo equipo se colocó una pequeña cantidad del material para su análisis. No obstante, fue necesario calentar previamente la muestra a una temperatura de 45 °C por un tiempo de 5 minutos para resultados óptimos (Vera, 2018, pp.44-49).

3.4. NPMs

Las NPMs sintetizadas por el método de coprecipitación química, fueron facilitadas por el laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

3.5. Fusión del coagulante-floculante natural con las NPMs.

La fusión del coagulante – floculante natural con las NPMs se realizó mediante el método aplicado por Estupiñán y Bermúdez (2019, p.35), el cual consistió en agregar las NPMs al coagulante obtenido y mezclar durante un tiempo de 3 minutos para obtener el compuesto pretendido en la presente investigación. Las cantidades empleadas se describen en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Cantidades utilizadas para la fusión del coagulante – floculante natural con las NPMs

Solución coagulante (13,3 mL)	Soluciones		Solución coagulante (%)
	Coagulante – floculante natural	Ferofluido (NPMs)	
Muestra de solución coagulante 1 (M ₁)	10 mL	3,3 mL	M ₁ : 75% de coagulante / 25% NPMs
Muestra de solución coagulante 2 (M ₂)	6,65 mL	6,65 mL	M ₂ : 50% de coagulante / 50% NPMs
Muestra de solución coagulante 3 (M ₃)	3,3 mL	10 mL	M ₃ : 25% de coagulante / 75% NPMs

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

Las cantidades de volumen de coagulante – floculante natural y de ferrofluido han sido consideradas por la necesidad de identificar si un mayor porcentaje del coagulante – floculante natural con un menor porcentaje de NPMs tienen un mayor poder de actuación que un menor porcentaje de coagulante – floculante natural con un mayor porcentaje de NPMs en la remoción de Hg en el agua. En otras palabras, por la exigencia de determinar si las NPMs potencian al coagulante para una mejor eficacia de remoción de Hg.

Por otra parte, el volumen considerado de la solución coagulante requerida de 13,3 mL fue tomado como referencia debido a que en investigaciones de Bolívar (2018, pp.92-104), Estupiñán y Bermúdez (2019, pp.47-50) y Toala (2019, pp.62-66) han demostrado buenos resultados en la remoción de metales pesados en un agua problema con volúmenes pequeños de solución coagulante. Además, con el volumen considerado también se pretende reflejar la viabilidad (recursos económicos) a gran escala de acuerdo con la producción del polvo de la cáscara de cacao y la producción de ferrofluido.

3.5.1. Preparación de las muestras de agua con Hg

Para preparar las muestras de agua o Unidades Experimentales (UE) con distintas concentraciones de Hg se tomó en consideración investigaciones donde se evidencia la presencia de dicho metal en los cuerpos de agua del Ecuador. El valor más alto de 2000 µg/L fue tomado como referencia del Trabajo de Titulación realizado por Esmeraldas y Zambrano (2018, p.48) en la evaluación de la concentración de Hg en el río Carrizal; y el valor de 11 µg/L hace referencia al estudio realizado por Capparelli et al. (2020, p.136088) para identificar los impactos por metales pesados en los cuerpos de agua de la Amazonía Ecuatoriana.

Con el fin de obtener un total de 200 mL de Hg para preparar las UE con las concentraciones requeridas, se realizó una solución estándar de Hg, para lo que se pesó 0,117 g de nitrato de Hg ($\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$) en la balanza analítica, luego se agregó 20 mL de ácido nítrico (HNO_3) y finalmente se aforó en un balón de 200 mL con agua destilada.

3.6. Prueba de jarras

Mediante la prueba de jarras se pretendió simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación de la solución coagulante obtenido para determinar la dosis adecuada, óptima y con más eficacia de remoción del Hg presente en el agua, esto se realizó siguiendo la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Diseño experimental para la dosificación de la solución coagulante

Solución coagulante (13,3 mL)	Agua destilada (1 000 mL)	Unidad Experimental (UE)
M ₁ : 75% de coagulante – floculante natural / 25% NPMs	C ₁ : 11 µg/L de Hg	UE ₁
		UE ₂
		UE ₃
	C ₂ : 2000 µg/L de Hg	UE ₄
		UE ₅
		UE ₆
M ₂ : 50% de coagulante – floculante natural / 50% NPMs	C ₁ : 11 µg/L de Hg	UE ₇
		UE ₈
		UE ₉
	C ₂ : 2000 µg/L de Hg	UE ₁₀
		UE ₁₁
		UE ₁₂
M ₃ : 25% de coagulante – floculante natural / 75% NPMs	C ₁ : 11 µg/L de Hg	UE ₁₃
		UE ₁₄
		UE ₁₅
	C ₂ : 2000 µg/L de Hg	UE ₁₆
		UE ₁₇
		UE ₁₈

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

De acuerdo con el procedimiento experimental indicado previamente, para cada jarra con 1 000 mL de agua destilada y una concentración específica de Hg, se le agregó una solución coagulante de 13,3 mL. El proceso se realizó tres veces para cada muestra de agua, dando un total de 18 UE.

Siguiendo lo realizado por Estupiñan y Bermúdez (2019, p.38) y por Conde y Domínguez (2021, p.53), cada UE se sometió a 100 revoluciones por minuto por un tiempo de 1 minuto y luego a 20 revoluciones por minuto por un lapso de 20 minutos. Posteriormente, para la sedimentación se dejó en reposo durante 30 minutos y se colocó un imán de neodimio en la parte inferior de cada vaso de precipitación para complementar el proceso. Todos los datos mencionados, se encuentran dentro de los rangos adecuados para simular el proceso de coagulación, floculación y sedimentación en un equipo de Prueba de Jarras de acuerdo con Martínez et al. (2017, p.3).

Con la finalidad de conocer el comportamiento de las muestras de agua, antes y después de realizar la prueba de jarras, se realizó las mediciones de pH, conductividad, turbiedad y temperatura, sumando la medición de la concentración de Hg luego del tratamiento, parámetro medido a través del equipo espectrofotómetro de absorción atómica. Cabe mencionar que, para la determinación de Hg restante, se tomó 10 mL de la muestra de agua de cada UE a 3 centímetros (cm) de profundidad desde la superficie.

3.7. Reutilización de las NPMs

El proceso de reutilización se realizó mediante la metodología aplicada por Estupiñan y Bermúdez (2019, p.40) y Mariñez (2015, p.24). Las NPMs fueron separadas de la solución con un imán de neodimio y se procedió a lavarlos con etanol y agua desionizada, repitiendo 4 veces el lavado con el objetivo de retirar aquellas partículas no magnéticas. Luego fueron llevadas a la estufa a una temperatura de 50 °C durante un tiempo de 12 horas para que sean secadas. Finalmente, se pesó las NPMs y se realizó nuevamente la solución coagulante acorde a las cantidades de volumen de la Tabla 2-3 para probar su reutilización.

3.8. Análisis estadístico

La comprobación de la hipótesis se realizó con la finalidad de determinar la eficacia de los tratamientos mediante el análisis de varianza (ANOVA), ésta se basó en demostrar si existen diferencias significativas en cuanto a la remoción de Hg a diferente volumen de coagulante – floculante natural y NPMs en muestras a una concentración de 11 µg/L y 2000 µg/L de Hg. Esto demostró si una combinación de ambas sustancias obtiene la mayor eficacia de remoción de Hg, a pesar de que, en alguna UE, se pueda evidenciar mayor remoción de Hg. Para demostrar aquello, se usó el programa SPSS donde se identificó un valor $p < 0,05$ como resultado estadístico significativo para las Tablas y el programa Desing Expert v.12 para la generación de gráficas de normalidad y homogeneidad de varianza.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

4.1.1. Caracterizaciones por IR

4.1.1.1. Caracterización del coagulante –floculante natural

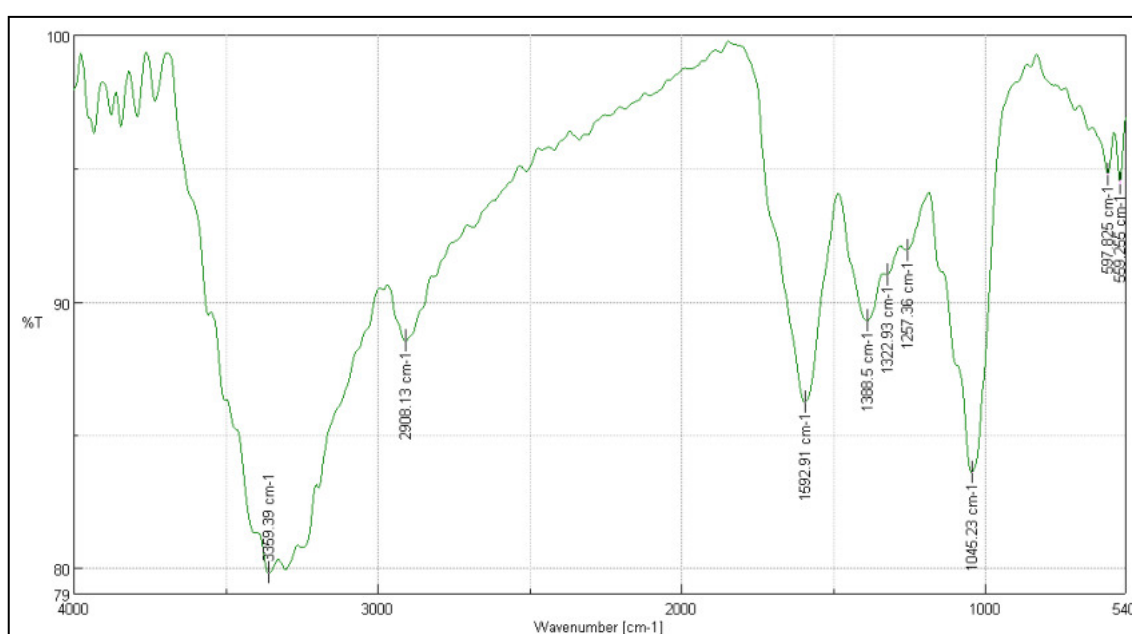


Ilustración 1-4: Espectro IR del coagulante – floculante natural

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Ilustración 1-4 se indica el espectro IR resultante del coagulante – floculante natural, el cual corresponde a polvo de cáscara de cacao CCN – 51, el pico más representativo con mayor declinación de 3359,39 centímetros recíprocos (cm^{-1}) corresponde los grupos Aminas, los cuales pueden ser primarias o secundarias que se encuentran en un rango de frecuencia de 3500 – 3200 cm^{-1} , estos son atribuibles a la tensión de los enlaces Nitrógeno (N) – Hidrógeno (H). Por consiguiente, se encuentra el pico 2908,13 cm^{-1} correspondiente al grupo funcional de los Alquenos, los cuales rigen en un rango de frecuencia entre 3000 a 2850 cm^{-1} y se debe a la tensión entre los enlaces C – H.

El tercer pico de 1592,91 cm^{-1} corresponde al grupo de las Aminas y Amidas primarias y secundarias debido a la flexión de los enlaces N – H que se encuentran en el rango de frecuencia

entre 1640 – 1550 cm^{-1} . El pico de 1388,5 cm^{-1} indica la presencia de un fluoruro producto de la unión C – F, el cual se encuentra entre 1400 y 1000 cm^{-1} . Por otra parte, el pico de 1322,92 cm^{-1} indica la presencia de Sulfones, Cloruros de sulfonilos, Sulfatos o Sulfoamidas debido a la tensión de la unión doble S = O dentro del rango de frecuencia entre 1375 y 1300 cm^{-1} .

Como penúltimo grupo funcional dentro del coagulante se encuentran los picos correspondientes a 1257,36 y 1045,36 cm^{-1} , estos debido a la tensión entre los enlaces C – C pueden ser Alcoholes, Ésteres o Éteres dentro del rango de frecuencia 1300 – 1000 cm^{-1} . Finalmente, en el último grupo funcional se encuentran los dos últimos picos de 597,825 y 559,225 cm^{-1} , estos corresponden a un rango < 667 e indica la presencia de Bromuro o Ioduro de acuerdo con Rubinson Kenneth y Rubinson Judith (2000, pp. 473-475).

4.1.1.2. Caracterización del ferrofluido

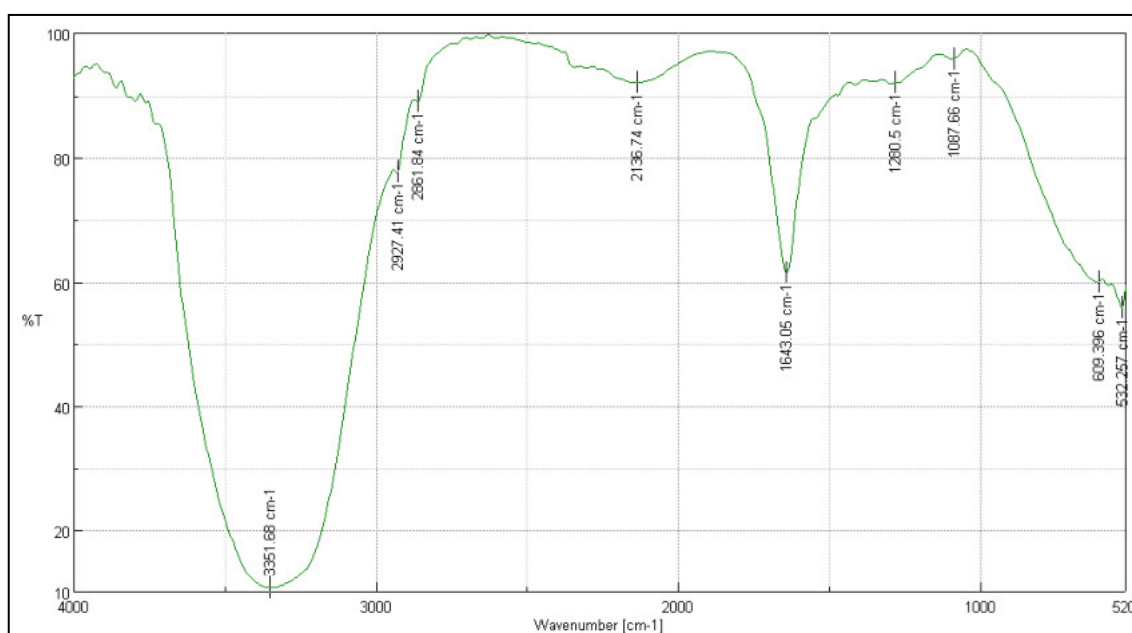


Ilustración 2-4: Espectro IR del ferrofluido

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Ilustración 2-4 se indica el espectro IR resultante del ferrofluido, el cual contiene a las NPMs, al igual que en el coagulante – floculante natural, el pico más representativo con mayor declinación de 3351,68 cm^{-1} corresponde los grupos Aminas, estos pueden ser primarias o secundarias dentro del rango de frecuencia de 3500 – 3200 cm^{-1} debido a la tensión de los enlaces N – H. Luego se encuentran los picos de 2927,41 y 2861,84 cm^{-1} correspondientes al grupo funcional de los Alquenos, los cuales rigen en un rango de frecuencia entre 3000 a 2850 cm^{-1} a causa de la tensión entre los enlaces C – H.

El cuarto pico de $2136,74\text{ cm}^{-1}$ pertenece al rango de onda de $2250 - 2100\text{ cm}^{-1}$ correspondiente a los Alquinos, debido a la tensión entre la unión triple $C \equiv C$. Por consiguiente, se encuentra el segundo pico con mayor declinación de $1643,05\text{ cm}^{-1}$, el cual se encuentra dentro del rango $1670 - 1640\text{ cm}^{-1}$ y corresponde al grupo de las Amidas por la tensión de la unión doble $C = C$. El siguiente grupo funcional son los Alcoholes, Ésteres o Éteres que se encuentran en el rango de onda $1300 - 1000\text{ cm}^{-1}$, donde se localizan dos picos de $1280,5$ y 1087 cm^{-1} . Finalmente, se encuentran los picos de $609,396$ y $532,257\text{ cm}^{-1}$ que, de acuerdo con Rubinson Kenneth y Rubinson Judith (2000, pp. 473-475), corresponden al grupo funcional con un rango < 667 , lo cual indica la presencia de Bromuro o Ioduro.

4.1.1.3. Caracterización de las NPMs posterior al tratamiento

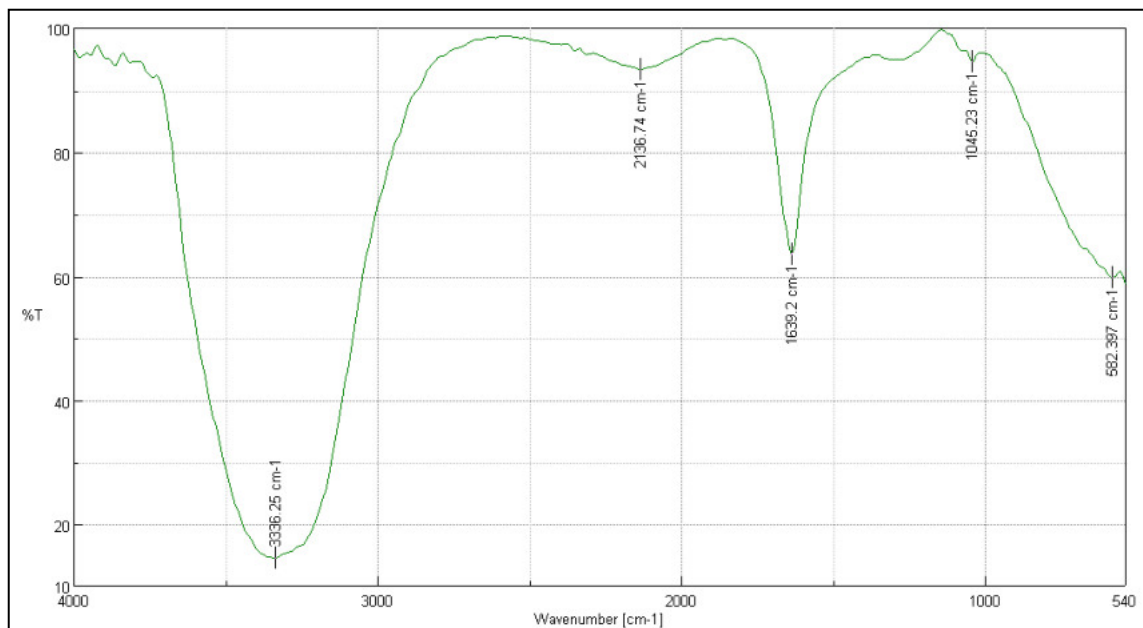


Ilustración 3-4: Espectro IR de las NPMs posterior al tratamiento

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Ilustración 3-4 se indica el espectro IR resultante de las NPMs luego de la prueba de jarras, al igual que en el coagulante – floculante natural y el ferrofluido, el pico con mayor declinación de $3336,25\text{ cm}^{-1}$ es el más representativo y corresponde a los grupos Aminas, los cuales pueden ser primarias o secundarias dentro del rango de frecuencia de $3500 - 3200\text{ cm}^{-1}$ a causa de la tensión entre los enlaces $N - H$. Luego, se encuentra el pico de $2136,74\text{ cm}^{-1}$ correspondiente al grupo funcional de los Alquinos, estos se localizan en un rango de frecuencia entre 2250 y 2100 cm^{-1} debido a la tensión entre los enlaces $C \equiv C$.

Por otra parte, se encuentra el grupo funcional de las Amidas, las cuales se encuentran entre un rango de frecuencia entre 1670 y 1640 cm^{-1} , esto a causa de la presencia de un pico con $1639,2\text{ cm}^{-1}$ producto de la unión doble $C = C$. Como penúltimo grupo funcional se encuentra los Alcoholes, Ésteres o Éteres localizados entre el rango de onda $1300 - 1000\text{ cm}^{-1}$, debido a la presencia de un pico de $1045,23\text{ cm}^{-1}$ con la tensión entre el enlace $C - C$. Finalmente, el último pico de $285,397\text{ cm}^{-1}$ y de acuerdo con Rubinson Kenneth y Rubinson Judith (2000, pp. 473-475), pertenece a la presencia del grupo funcional de Bromuro o Ioduro debido a que se encuentra en el rango de frecuencia < 667 .

4.1.2. Caracterizaciones por MEB

4.1.2.1. Caracterización del coagulante – floculante natural

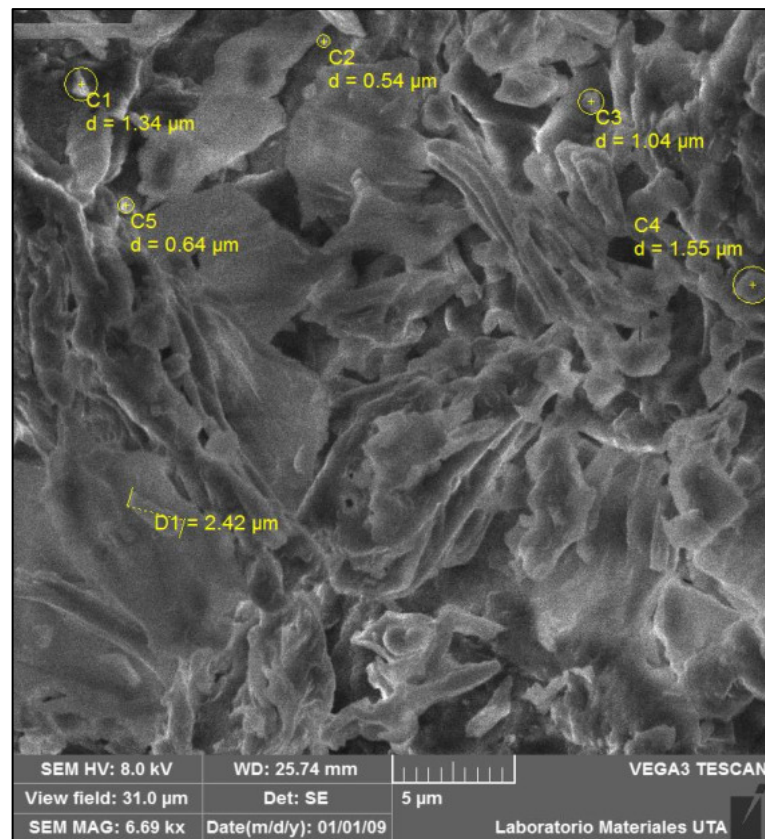


Ilustración 4-4: Micrografía del coagulante – floculante natural por MEB

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Ilustración 4-4 se observa la caracterización mediante MEB del coagulante – floculante natural en polvo con un aumento de $5\text{ }\mu\text{m}$ y a una energía de 8 kilovoltios (kV), como resultado se puede evidenciar que tienen un tamaño desde $0,54\text{ }\mu\text{m}$ hasta $2,42\text{ }\mu\text{m}$, dando un promedio de $1,26\text{ }\mu\text{m}$ con formas elípticas e irregulares. El tamaño obtenido es notablemente superior en

comparación con el coagulante – floculante natural obtenido a base de la moringa con un tamaño promedio de 0,06 μm (Estupiñan y Bermúdez, 2019, p.43). No obstante, los coagulantes naturales a base del bagazo de la caña de azúcar y de la cascarilla de cebada obtenido por Pérez (2017, pp.45-49) presentan un tamaño promedio entre 1 a 2 μm , es decir, poseen un tamaño similar. Por otra parte, existen coagulantes naturales con un tamaño superior, como son los gránulos de almidón de papa obtenido por Herrera (2015, p.8), los cuales poseen un tamaño entre 5 y 40 μm . Estos resultados nos indican que el tamaño es dependiente del origen natural del cual provengan y del método aplicado para obtener las partículas o sustancia coagulante – floculante.

4.1.2.2. Caracterización de las NPMs posterior al tratamiento

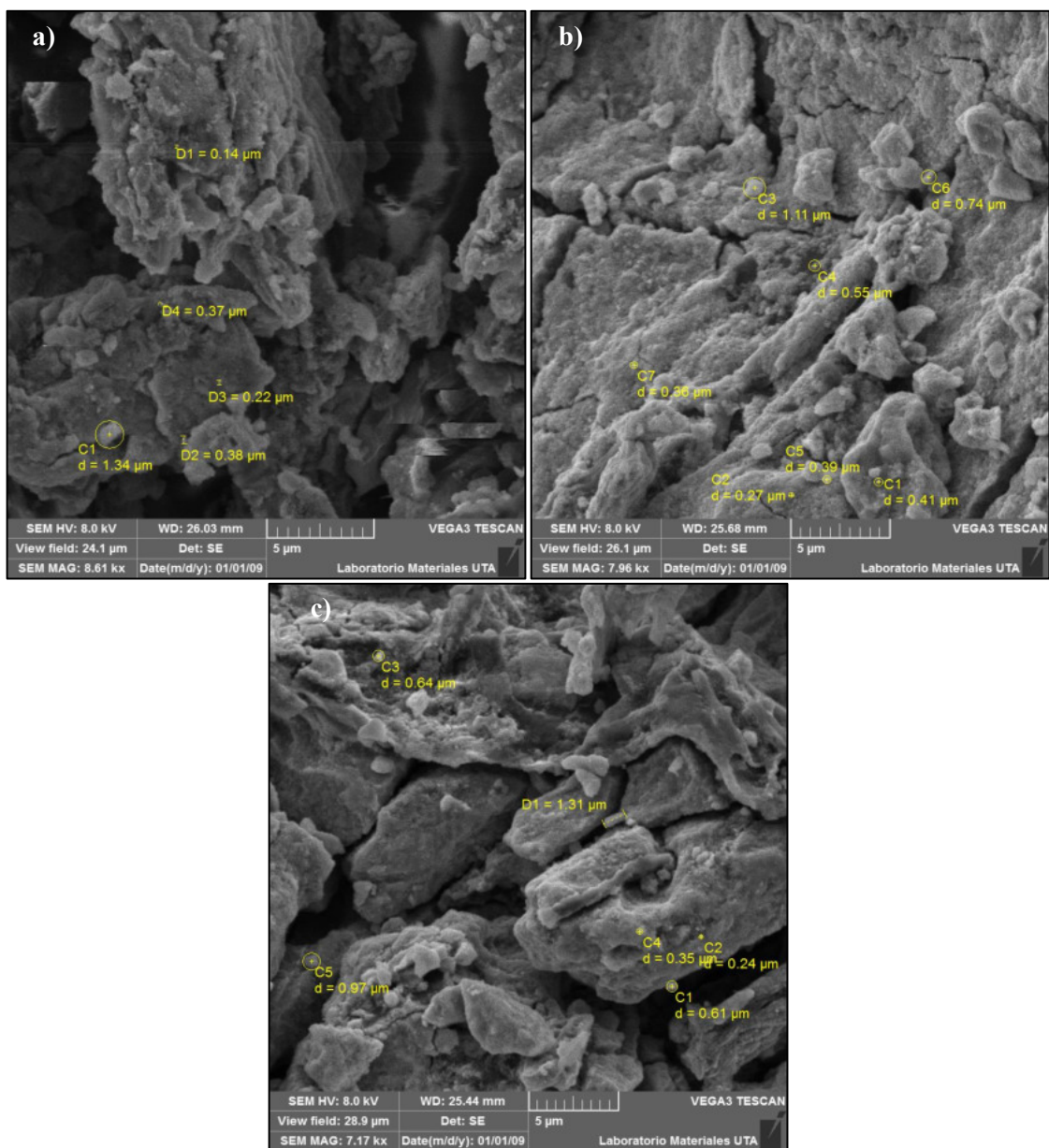


Ilustración 5-4: Micrografía de las NPMs por MEB de: a) *UE₃; b) *UE₁₀; c) *UE₁₆

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Ilustración 5-4 se observa la caracterización mediante MEB de las NPMs reutilizadas de la UE₃, UE₁₀ y UE₁₆, las cuales fueron designadas como * UE₃, * UE₁₀ y * UE₁₆, respectivamente. Con un aumento de 5 μm y a una energía de 8 kV, dichas NPMs tienen un tamaño desde los 0,14 μm hasta los 1,34 μm , resultando un promedio de 0,59 μm con formas esféricas e irregulares. Dichos tamaños son superiores a los obtenidos por Vera (2018, p.59), los cuales tuvieron un diámetro promedio de 0,03 μm con forma esférica. Así mismo, los obtenidos por Chamé (2013, p.71) que tuvieron un tamaño promedio de 0,08 μm .

Se asumen que los cambios mencionados en cuanto a tamaño se deben a los dos secados que tuvieron que pasar las NPMs luego de haber sido probadas en el equipo de Prueba de Jarras ya que se aglomeran resultado de la evaporación del medio al cual se encontraban. Esto es producto de su naturaleza debido a que son magnéticas y es común este comportamiento en nanocompuestos de esta característica (Vera, 2018, p.59). Adicional, debido a su reutilización, la eficacia para la adsorción de metales como el Hg, se ve afectada, es decir, se reduce a causa de dicha aglomeración magnética por la interacción Van der Waals (Chávez y Rodríguez, 2021, p.264).

4.1.3. Parámetros medidos de todas las Unidades Experimentales

Tabla 1-4: Resultados de parámetros medidos en todas las Unidades Experimentales

Solución coagulante (13,3 mL)	Agua destilada (1 000 mL)	Unidad Experimental (UE)	Parámetros (Antes)				Parámetros (Después)				Hg inicial (µg/L)	Hg final (µg/L)	Normativa: A.M. 097 / Tabla 9 / ANEXO I DEL LIBRO VI DEL TULSMA	Concentración de mercurio removido (µg/L)	Concentración de mercurio removido (%)	Promedio de mercurio removido (%)
			pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	Conductividad (µS/cm)	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	Conductividad (µS/cm)						
M ₁ : 75% de coagulante - floculante natural / 25% NPMs	C ₁ : 11 µg/L (Hg)	UE ₁	5,20	20,1	0,24	8,426	6,37	21,3	16,03	83,02	11	2,94	Cumple	8,06	73,23	68,91
		UE ₂	5,16	19,4	0,19	8,437	6,21	21,3	17,00	82,20	11	2,53	Cumple	8,47	77,00	
		UE ₃	4,89	19,8	0,19	9,693	5,93	21,3	21,8	83,65	11	4,78	Cumple	6,22	56,51	
	C ₂ : 2000 µg/L (Hg)	UE ₄	3,03	19,1	0,18	1065	3,06	20,3	20,7	1065	2000	1242,78	No cumple	757,22	37,86	32,86
		UE ₅	3,07	20,7	0,19	1046	3,08	21,3	19,3	1124	2000	1127,45	No cumple	872,55	43,63	
		UE ₆	3,06	20,6	0,22	1078	3,08	21,3	18,4	1122	2000	1657,96	No cumple	342,04	17,10	
M ₂ : 50% de coagulante - floculante natural / 50% NPMs	C ₁ : 11 µg/L (Hg)	UE ₇	5,49	19,8	0,28	6,946	6,11	21,3	18,3	148,20	11	12,71	No cumple	-1,71	-15,59	19,91
		UE ₈	4,97	19,8	0,23	10,42	6,07	21,3	16,2	153	11	9,46	No cumple	1,54	14,03	
		UE ₉	5,87	20,8	0,30	3,539	6,73	20,9	36,9	152	11	4,26	Cumple	6,74	61,28	
	C ₂ : 2000 µg/L (Hg)	UE ₁₀	3,08	20,9	0,12	1100	3,09	20,8	19,4	1182	2000	315,20	No cumple	1684,80	84,24	61,68
		UE ₁₁	3,05	20,9	0,14	1183	3,07	20,8	19,5	1268	2000	997,60	No cumple	1002,40	50,12	
		UE ₁₂	3,06	20,8	0,13	1168	3,07	20,7	14,3	1236	2000	986,46	No cumple	1013,54	50,68	
M ₃ : 25% de coagulante - floculante natural / 75% NPMs	C ₁ : 11 µg/L (Hg)	UE ₁₃	4,95	20,7	0,21	10,8	5,7	20,7	23,4	218,8	11	4,98	Cumple	6,02	54,74	62,23
		UE ₁₄	5,53	20,8	0,19	4,294	6,34	20,7	25,9	226,6	11	3,71	Cumple	7,29	66,26	
		UE ₁₅	5,24	20,7	0,19	5,147	6,36	20,7	30,5	217	11	3,78	Cumple	7,23	65,68	
	C ₂ : 2000 µg/L (Hg)	UE ₁₆	3,06	21,5	0,32	1087	3,07	21,7	16,8	1440	2000	1235,43	No cumple	764,57	38,23	53,85
		UE ₁₇	3,07	21,3	0,28	1080	3,08	21,7	10,1	1360	2000	861,72	No cumple	1138,28	56,91	
		UE ₁₈	3,05	21,5	0,21	1121	3,06	21,6	9,8	1443	2000	671,69	No cumple	1328,31	66,42	
Reutilización de NPMs																
M ₁	C ₁ : 11 µg/L (Hg)	*UE ₃	4,87	19,1	0,27	14,63	5,95	20,8	12,7	19,07	11	4,50	Cumple	6,50	59,07	59,07
M ₂	C ₂ : 2000 µg/L (Hg)	*UE ₁₀	3,10	19,1	0,25	1029	3,11	20,1	11,5	1091	2000	1495,57	No cumple	504,43	25,22	25,22
M ₃	C ₂ : 2000 µg/L (Hg)	*UE ₁₆	3,09	19,1	0,29	1042	3,11	20,1	10,3	1112	2000	1206,03	No cumple	793,97	39,70	39,70

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Tabla 1-4 se indica los resultados de todos los parámetros medidos antes y después de realizar la prueba de jarras, así como la concentración final de Hg, la concentración de Hg removido en porcentaje y el promedio de Hg removido en porcentaje, incluyendo de los tres ensayos de la reutilización de las NPMs, estos datos son de gran ayuda para realizar los análisis parámetro por parámetro.

4.1.4. Parámetros de las muestras con concentración de 11 µg/L.

4.1.4.1. pH

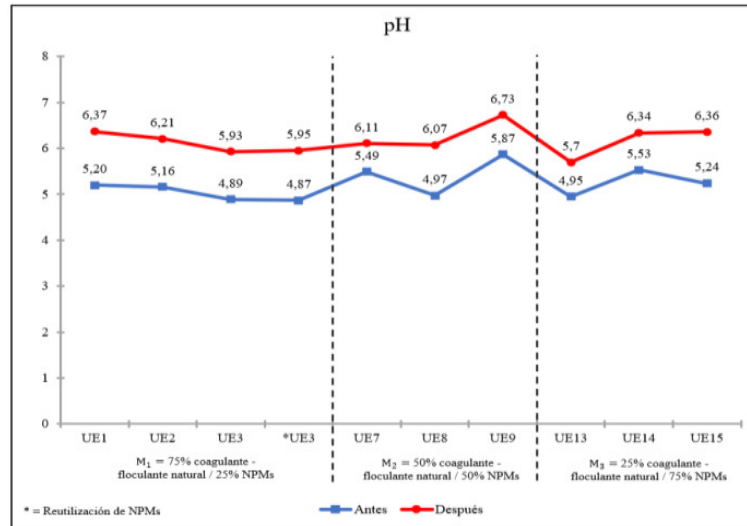


Ilustración 6-4: Resultados de pH en las UE de 11 µg/L

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Ilustración 6-4 se constata los niveles de pH medidos en cada UE con concentración de 11 µg/L, las cuales antes de realizar la prueba de jarras se mantienen en un rango de 4,87 hasta 5,87 con un promedio de 5,22 debido al ácido nítrico usado para preparar la solución del estándar de Hg para cada UE. Sin embargo, luego de realizar las pruebas aplicando la solución coagulante, dicho parámetro aumenta en un rango de 5,7 hasta 6,73 con un promedio de 6,18 dando como resultado, soluciones con una tendencia ácida – neutra.

4.1.4.2. Temperatura

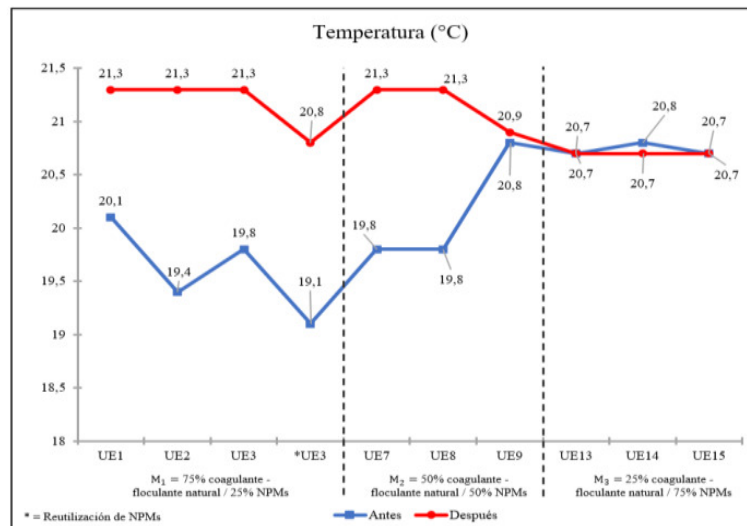


Ilustración 7-4: Resultados de temperatura en las UE de 11 µg/L

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Ilustración 7-4 se indica los niveles de temperatura medidos en cada UE con concentración de 11 µg/L, los cuales antes de realizar la prueba de jarras se mantienen en un rango de temperatura de 19,1 °C hasta 20,8 °C con un promedio de 20,1 °C. Por otro lado, después de realizar los ensayos, la temperatura se mantiene desde 20,7 °C hasta 21,3 °C con un promedio de 21,3 °C, esto indica el aumento de 1,2 °C en las UE, sin embargo, no es un cambio significativo debió a que se mantuvo a temperatura ambiente.

4.1.4.3. Turbiedad

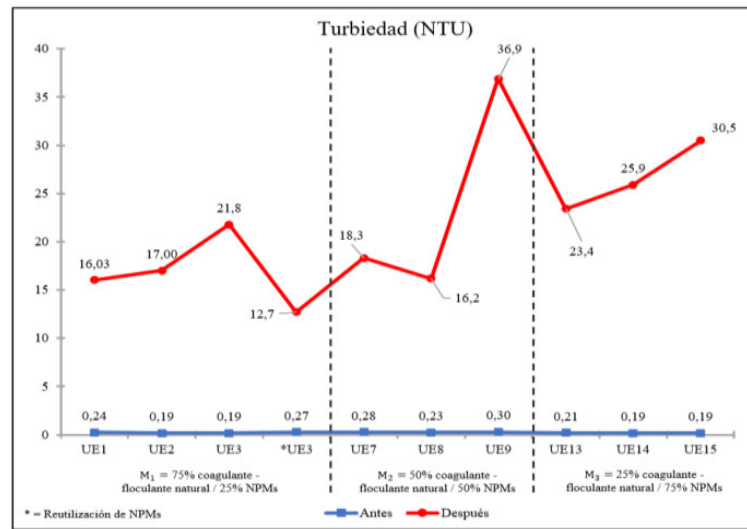


Ilustración 8-4: Resultados de turbiedad en las UE de 11 µg/L

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Ilustración 8-4 se indica los niveles de turbiedad medidos en cada UE con concentración de 11 µg/L, los cuales antes de realizar la prueba de jarras se mantienen en un rango de 0,19 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) hasta 0,28 NTU con un promedio de 0,23 NTU. Mientras que, después de realizar los ensayos, la turbiedad se mantiene desde 12,7 NTU hasta 36,9 NTU con un promedio de 21,87 NTU, esto indica un aumento drástico de la turbiedad de más de 21 NTU debido al empleo de la solución coagulante, ya que el coagulante – floculante natural se mantuvo aún en suspensión luego de realizar la sedimentación por un tiempo de 30 minutos con un imán de neodimio pese a que las NPMs si se sedimentaron dentro del tiempo establecido.

4.1.4.4. Conductividad

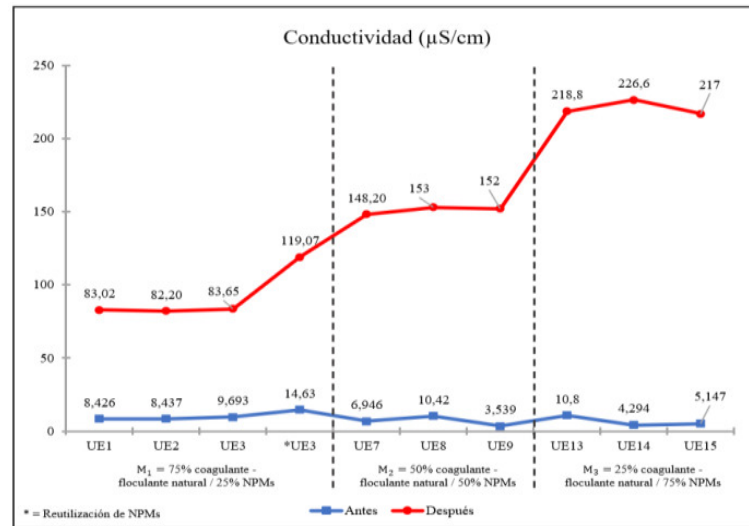


Ilustración 9-4: Resultados de conductividad en las UE de 11 µg/L

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Ilustración 9-4 se indica los niveles de conductividad medidos en cada UE con concentración de 11 µg/L, los cuales antes de realizar la prueba de jarras se mantienen en un rango de 3,54 microsiemens/centímetro (µS/cm) hasta 14,63 µS/cm con un promedio de 8,23 µS/cm. Sin embargo, después de realizar los ensayos, la conductividad se mantiene desde 83,02 µS/cm hasta 226,6 µS/cm con un promedio de 148,35 µS/cm. Estos resultados indican un aumento con más de 140 µS/cm, esto se debe al aumento de iones o electrolitos disueltos en el agua ya que un aumento o disminución de estos determina la conductividad de la misma (Boyd, 2017, p.4).

Adicional, existe un incremento progresivo de la conductividad hasta la UE₁₅ y si tomamos en cuenta que cada tres UE representan a una situación en específica en cuanto a solución coagulante y concentración de Hg, las soluciones coagulantes tienen diferentes cantidades de coagulante – floculante natural y NPMs. En este sentido, cuanto mayor fue el uso del coagulante natural mayor fue la conductividad debido a que la misma se componía de diferentes grupos funcionales que forman iones y aumentan la conductividad, como los Sulfones, Cloruros de sulfonilos, Sulfatos o Sulfoamidas, Aminas y Amidas (Boyd, 2017, p.4), esto puede verse reflejado en la caracterización realizada a través del IR.

4.1.4.5. Concentración de Hg

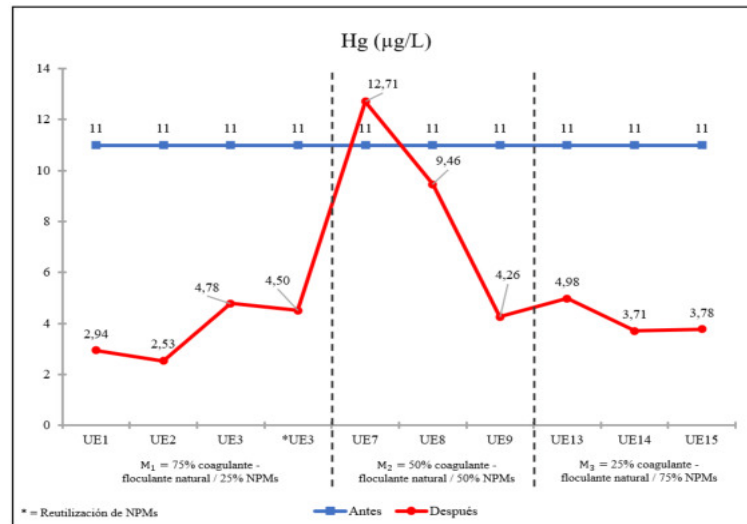


Ilustración 10-4: Resultados de Hg en las UE de 11 µg/L

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Ilustración 10-4 se indica las concentraciones medidas de Hg en cada UE con concentración de 11 µg/L de Hg luego de realizar el tratamiento, la concentración se mantiene en un rango entre 2,53 µg/L hasta 12,71 µg/L, con un promedio de 5,37 µg/L, esto indica una remoción total de un 51,22 %. En este sentido, de la UE₁ hasta la UE₃ con una solución coagulante conformada por un porcentaje de 75 % de coagulante – floculante natural y 25% de NPMs tienen un promedio de remoción de Hg de un 68,91 %, sin embargo, la UE₂ fue la que mejor resultados mostró, con una remoción del 77 % de Hg.

Así mismo, de la UE₇ hasta la UE₉ con una solución coagulante conformada por un porcentaje de 50 % de coagulante – floculante natural y 50% de NPMs se obtuvo un promedio de remoción de Hg de un 19,91 %. No obstante, la UE₉ fue la que mejor resultados mostró, con una remoción del 61,28 % de Hg. Cabe mencionar que la UE₇ presentó un nivel superior al estimado, esto pudo deberse al manejo manual del estándar de Hg que se agregaba a la UE, por ende, se resalta la importancia de realizar tres veces el ensayo con dicha concentración de Hg y solución coagulante.

Por otra parte, de la UE₁₃ hasta la UE₁₅ con un porcentaje de 25 % de coagulante – floculante natural y 75% de NPMs se obtuvo un promedio de remoción de Hg de un 62,23%. Pese aquello, la UE₁₄ fue la que mejor resultados reveló, con una remoción del 66,26 % de Hg. Finalmente, la *UE₃ que indica la reutilización de las NPMs de la UE₃ reflejó una remoción de un 59,07 % de Hg, dando un resultado similar y dentro del rango en la solución coagulante con un porcentaje de 75 % de coagulante – floculante natural y 25% de NPMs.

4.1.5. Parámetros de las muestras con concentración de 2000 µg/L.

4.1.5.1. pH

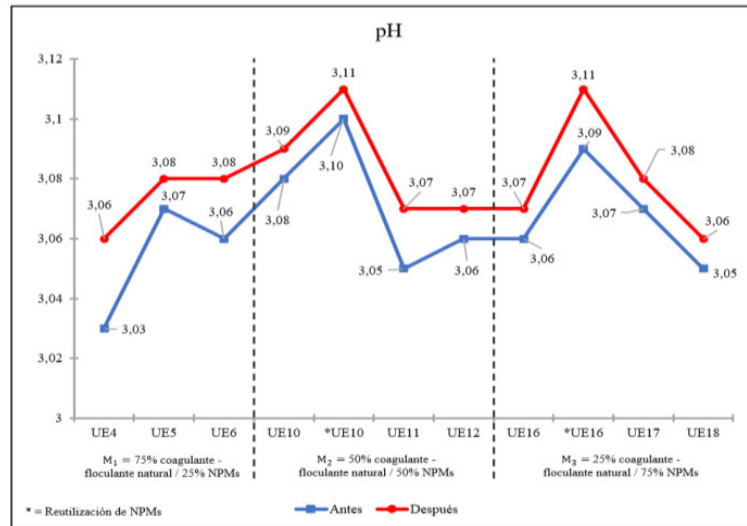


Ilustración 11-4: Resultados de pH en las UE de 2000 µg/L

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Ilustración 11-4 se comprueba los niveles de pH medidos en cada UE con concentración de 2000 µg/L, las cuales antes de realizar la prueba de jarras se mantienen en un rango de 3,03 hasta 3,10 con un promedio de 3,07 a causa del ácido nítrico usado para preparar la solución del estándar de Hg para cada UE. No obstante, luego de realizar las pruebas aplicando la solución coagulante, dicho parámetro aumenta levemente en un rango de 3,06 hasta 3,11 con un promedio de 3,08 dando como resultado, soluciones con una tendencia completamente ácida.

4.1.5.2. Temperatura

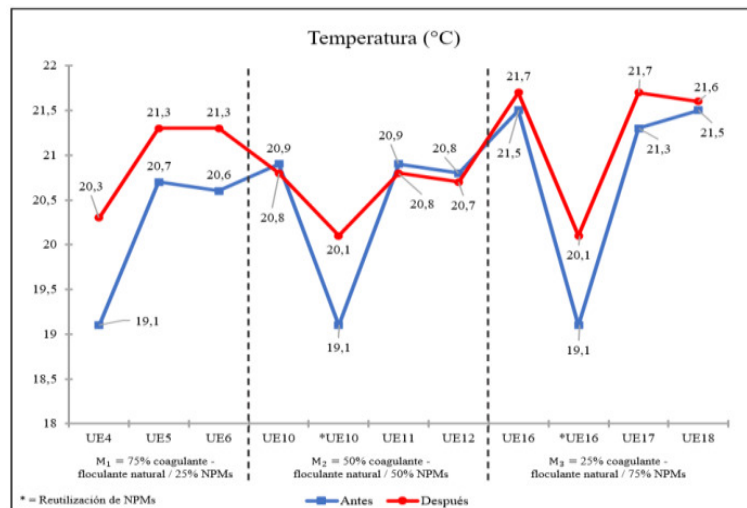


Ilustración 12-4: Resultados de temperatura en las UE de 2000 µg/L

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Ilustración 12-4 se muestra los niveles de temperatura medidos en cada UE con concentración de 2000 $\mu\text{g/L}$, los cuales antes de realizar la prueba de jarras se mantienen en un rango de temperatura de 19,1 $^{\circ}\text{C}$ hasta 21,5 $^{\circ}\text{C}$ con un promedio de 20,5 $^{\circ}\text{C}$. Por otro lado, después de realizar los ensayos, la temperatura se mantiene desde 20,1 $^{\circ}\text{C}$ hasta 21,7 $^{\circ}\text{C}$ con un promedio de 20,94 $^{\circ}\text{C}$, indicando un aumento del 0,44 $^{\circ}\text{C}$ en las UE, a pesar de aquello, no representa un cambio significativo dado a que se mantuvo a temperatura ambiente, al igual con las UE con una concentración de 11 $\mu\text{g/L}$.

4.1.5.3. Turbiedad

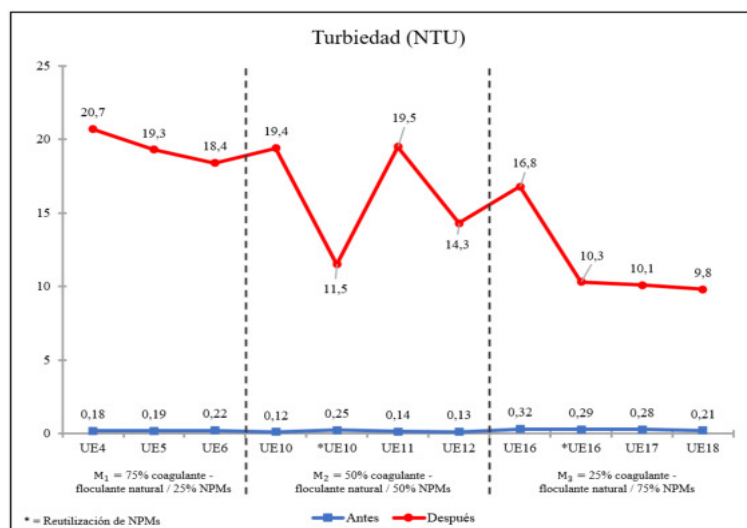


Ilustración 13-4: Resultados de turbiedad en las UE de 2000 $\mu\text{g/L}$

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Ilustración 13-4 se constata los niveles de turbiedad medidos en cada UE con concentración de 2000 $\mu\text{g/L}$, los cuales antes de realizar la Prueba de Jarras se mantienen en un rango de 0,12 NTU hasta 0,32 NTU con un promedio de 0,21 NTU. Mientras que, después de realizar los ensayos, la turbiedad se mantiene desde 9,8 NTU hasta 20,7 NTU con un promedio de 15,46 NTU, esto indica un aumento de la turbiedad de más de 10 NTU. Dicho evento es debido al empleo de la solución coagulante, ya que el coagulante – floculante natural se mantuvo aún en suspensión luego de realizar la sedimentación.

Es importante mencionar que hubo un mejor resultado en la UE₁₈ donde dicha solución coagulante está conformada por un 25 % de coagulante – floculante natural y 75 % de NPMs, esto evidencia que cuando existe mayor porcentaje del coagulante – floculante natural habrá una mayor turbiedad, tomando en consideración de que se trata de muestras de agua destilada contaminadas con Hg, esto puede cambiar en muestras obtenidas de diferentes cuerpos de agua debido a la composición de estas.

4.1.5.4. Conductividad

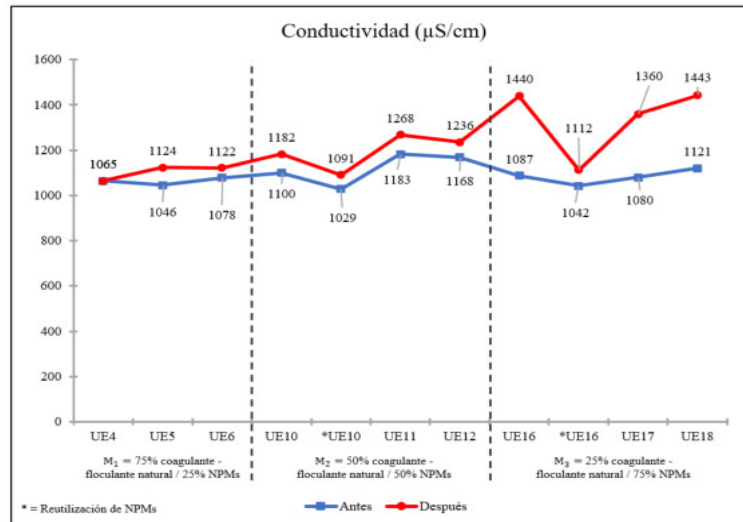


Ilustración 14-4: Resultados de conductividad en las UE de 2000 µg/L

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Ilustración 14-4 se indica los niveles de conductividad medidos en cada UE con concentración de 2000 µg/L, los cuales antes de realizar la prueba de jarras se mantienen en un rango de 1029 µS/cm hasta 1183 µS/cm con un promedio de 1090,81 µS/cm. Sin embargo, después de realizar los ensayos, la conductividad se mantiene desde 1042 µS/cm hasta 1443 µS/cm con un promedio de 1222,09 µS/cm. Estos resultados indican poco cambio con el aumento de más de 131,28 µS/cm en las UE. Al igual que con las UE con 11 µg/L, este evento se debe al incremento de iones disueltos en el agua a causa de la cantidad de coagulante – floculante natural usado en las soluciones para cada UE (Boyd, 2017, p.4).

4.1.5.5. Concentración de Hg

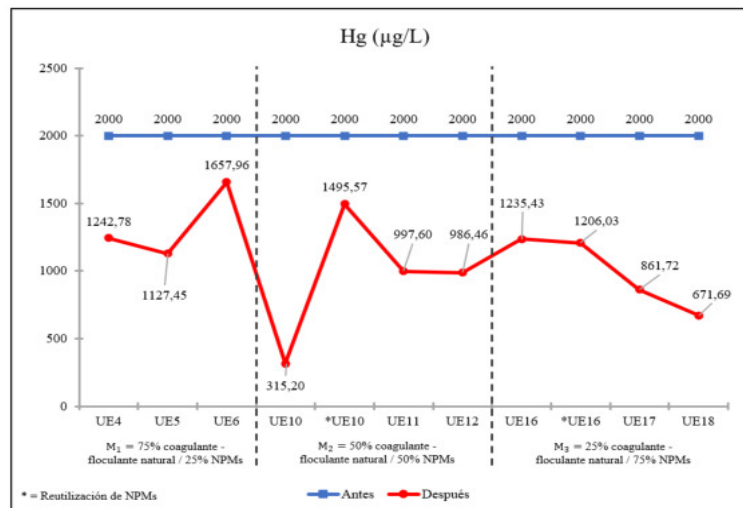


Ilustración 15-4: Resultados de Hg en las UE de 2000 µg/L

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En la Ilustración 15-4 se indica las concentraciones medidas de Hg en cada UE con concentración de 2000 µg/L de Hg luego de realizar los ensayos de Prueba de Jarras, la concentración se conserva en un rango entre 315,20 µg/L hasta 1657,96 µg/L, con un promedio de 1072,54 µg/L, esto indica una remoción total de un 47,36 %. De este modo, de la UE₄ hasta la UE₆ con una solución coagulante conformada por un porcentaje de 75 % de coagulante – floculante natural y 25% de NPMs tienen un promedio de remoción de Hg de un 32,86 %, donde la UE₅, fue la que mejor remoción de Hg presentó con un 43,63 %.

Así mismo, de la UE₁₀ hasta la UE₁₂ con una solución coagulante conformada por un porcentaje de 50 % de coagulante – floculante natural y 50% de NPMs se obtuvo un promedio de remoción de Hg de un 61,67 %, donde la UE₁₀ fue la que mejor resultados reveló, con una remoción del 84,24 % de Hg. De igual manera, con la UE₁₆ hasta la UE₁₈ con un porcentaje de 25 % de coagulante – floculante natural y 75% de NPMs se obtuvo un promedio de remoción de Hg de un 53,83%, sin embargo, la UE₁₈ fue la que mejor resultados demostró, con un 66,42 %.

Finalmente, las *UE₁₀ y *UE₁₆ que indican la reutilización de las NPMs de la UE₁₀ y UE₁₆ reflejaron una remoción de Hg de un 25,22% y 39,70 % respectivamente, el resultado de ambos ensayos indica una baja eficacia en cuanto a los resultados obtenidos cuando se realizó el primer ensayo con las NPMs y el coagulante – floculante natural, debido a que no reflejaron resultados con porcentajes representativos de remoción de Hg de al menos el 50%.

4.2. Discusión

En general, la cáscara de cacao es uno de los residuos que en mayor volumen se genera al momento de la cosecha de la mazorca, por lo cual es escaso su aprovechamiento. En este sentido, en la búsqueda de revalorizar dichos residuos, el polvo de la cáscara de cacao CCN – 51 (*Theobroma cacao L.*) surge como una de las alternativas para ser aplicado en los tratamientos de agua como coagulante – floculante natural. En el presente proyecto de investigación se han obtenido resultados favorables en cuanto a la remoción de Hg ya que en la mayoría de los ensayos se ha logrado remover alrededor del 50% de este metal en las Unidades Experimentales.

En comparación con otros coagulantes naturales, el coagulante – floculante natural no ha sido usado en investigaciones para la remoción de metales en específico, como el Hg, de acuerdo con la literatura, no obstante, se puede discutir con resultados obtenidos con otros coagulantes naturales. Uno de los coagulantes naturales es la nanofibra de la moringa (*Moringa oleifera*) con una remoción del 81,6 % de Hg en muestras de aguas sintéticas con un rango de concentración de 2,5 mg/L a 1000 mg/L (Chen et al., 2021, pp.8611-8628). Así mismo, se encuentra la corteza de

eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) con una eliminación del 69,9 % de Hg con una concentración inicial de 100 mg/L en soluciones acuosas (Ghodbane y Hamdaoui, 2008, pp.301-309). Adicional, las espigas de arroz (*Oryza sativa*) usadas como biosorbente para la eliminación del Hg han demostrado su remoción del 100 % en concentraciones desde 5,80 mg/L a 8,02 mg/L en aguas residuales (Rocha et al., 2009, p.383-388).

Los resultados anteriores son superiores, sin embargo, existen coagulantes que indican porcentajes menores de remoción de metales, como es el estudio realizado por León y Medina (2021, p.59) donde obtuvo solamente la remoción del 26,82 % de Plomo con una concentración inicial de 5,38 mg/L con el empleo del almidón de la cáscara de la papa (*Solanum Tuberosa*) en muestras de agua provenientes de la minería. De forma similar, el uso de la pectina del nopal (*Opuntia Ficus-indica*) usado por Ibarra et al. (2019, pp.393-395) demostró una baja remoción del 44 % de Cadmio en muestras de agua residuales industriales con una concentración inicial de 399,66 mg/L.

Por otra parte, la fusión de los coagulantes – floculantes naturales con NPMs han surgido con la necesidad de evidenciar si se potencializa la remoción de metales pesados. Un claro ejemplo es el generado por Rahbar et al. (2014, p.4) que evidenció que las NPMs recubiertas de quitosano lograron remover el 99,91 % de Hg en soluciones con 6,2 mg/L. Otro caso es el realizado por Urbina (2022, p.37-38) que obtuvo remover el 100% de Hg en soluciones con 100 mg/L de dicho metal con el uso de nanopartículas magnéticas y el sargazo (*Sargassum spp.*) que cuenta como residuo. Si bien estos resultados son excelentes, dependen mucho del método por el cual se fusionen las NPMs y el coagulante – floculante natural, así como las condiciones a las cuales sean probadas.

De acuerdo con los estudios que se han mencionado, el presente proyecto de investigación ha logrado resultados favorables en cuanto a la remoción del Hg en el agua. La UE₂ con 11 µg/L de Hg y una solución coagulante conformada por un porcentaje de 75 % de coagulante – floculante natural y 25% de NPMs logró un 77 % de remoción, llegando a estar por debajo del Límite máximo permisible de mercurio en descarga a un cuerpo de agua dulce dispuesto en la normativa ecuatoriana. Por otra parte, la UE₁₀ logró un 84,24 % de remoción, el mayor porcentaje registrado con respecto a todos los ensayos realizados, sin embargo, este resultado se presentó a una concentración de 2000 µg/L de Hg y una solución coagulante conformada por un porcentaje de 50 % de coagulante – floculante natural y 50% de NPMs, a pesar de que no está por debajo del límite, es un porcentaje radical de Hg removido.

Dichos resultados son variados debido a que el coagulante – floculante natural posee en gran cantidad grupos funcionales como los Sulfones, Cloruros de sulfonilos, Sulfatos o Sulfoamidas, Aminas y Amidas, lo cuales generan un intercambio de iones y ejecuta la remoción del Hg del agua. No obstante, son resultados que contribuyen al desarrollo y mejora continua de alternativas amigables con el ambiente para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados a causa de las diferentes actividades antrópicas que contaminan cada día más los cuerpos de agua de nuestra naturaleza.

4.3. Comprobación de la hipótesis

4.3.1. Análisis de la varianza (ANOVA) para las UE con concentración de 11 µg/L de Hg

Las hipótesis para el análisis ANOVA para las UE con concentración de Hg con 11 µg/L responde a lo siguiente:

Hipótesis nula (H_0): El uso de distintas dosificaciones de un coagulante – floculante natural con nanopartículas magnéticas no presenta diferencias significativas en la remoción de mercurio en concentraciones 11 µg/L durante los procesos de coagulación – floculación.

Hipótesis alternativa (H_1): El uso de distintas dosificaciones de un coagulante – floculante natural con nanopartículas magnéticas presenta diferencias significativas en la remoción de mercurio en concentraciones 11 µg/L durante los procesos de coagulación – floculación.

Una vez planteadas las hipótesis se observa a continuación en la Tabla 2-4 el resultado en el programa SPSS y en el ANEXO E la normalidad y homogeneidad de la varianza de los resultados en cuanto a las soluciones coagulantes M_1 , M_2 , M_3 .

Tabla 2-4: Análisis ANOVA para UE con concentraciones de 11 µg/L de Hg

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media	Valor F	Valor p
Entre grupos (M_1 , M_2 , M_3)	4 237,347	2	2 118,674	3,819	0,085
Dentro de grupos	3 328,415	6	554,736		
Total	7 565,762	8			

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En relación con los valores de la Tabla 2-4, el valor de significancia es $>0,05$, lo cual indica que se acepta H_0 y demuestra que no hay diferencias significativas en cuanto al empleo de diferente volumen de coagulante – floculante natural y NPMs para la remoción de Hg. A pesar de que el

mejor resultado se evidenció en la solución coagulante M₁ conformada por un porcentaje de 75 % de coagulante – floculante natural y 25% de NPMs de acuerdo con la diferencia de medias presentada en la Ilustración 16-4.

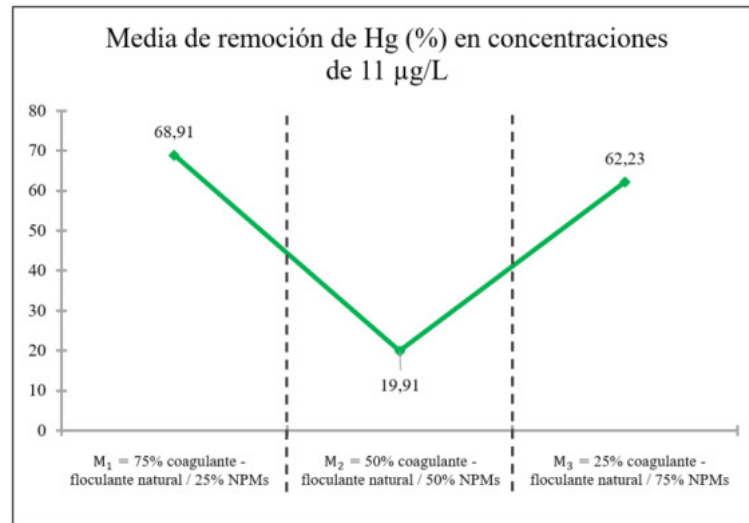


Ilustración 16-4: Media de remoción de Hg (%) en concentraciones de 11 µg/L

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

4.3.2. *Análisis de la varianza (ANOVA) para las UE con concentración de 2000 µg/L de Hg*

Las hipótesis para el análisis ANOVA para las UE con concentración de Hg con 2000 µg/L responde a lo siguiente:

Hipótesis nula (H₀): El uso de distintas dosificaciones de un coagulante – floculante natural con nanopartículas magnéticas no presenta diferencias significativas en la remoción de mercurio en concentraciones 2000 µg/L durante los procesos de coagulación – floculación.

Hipótesis alternativa (H₁): El uso de distintas dosificaciones de un coagulante – floculante natural con nanopartículas magnéticas presenta diferencias significativas en la remoción de mercurio en concentraciones 2000 µg/L durante los procesos de coagulación – floculación.

Una vez planteadas las hipótesis se observa a continuación en la Tabla 3-4 el resultado en el programa SPSS y en el ANEXO E la normalidad y homogeneidad de la varianza de los resultados en cuanto a las soluciones coagulantes M₁, M₂, M₃.

Tabla 3-4: Análisis ANOVA para UE con concentraciones de 2000 µg/L de Hg

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media	Valor F	Valor p
Entre grupos (M ₁ , M ₂ , M ₃)	1 332,237	2	666,119	2,555	0,158
Dentro de grupos	1 564,311	6	260,718		
Total	2 2896,548	8			

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

En relación con los valores de la Tabla 3-4, el valor de significancia es $>0,05$, lo cual indica que se acepta H_0 y demuestra que no hay diferencias significativas en cuanto al empleo de diferente volumen de coagulante – floculante natural y NPMs para la remoción de Hg. A pesar de que el mejor resultado se evidenció en una solución coagulante M₂ conformada por un porcentaje de 50 % de coagulante – floculante natural y 50 % de NPMs de acuerdo con la diferencia de medias presentada en la Ilustración 17-4.

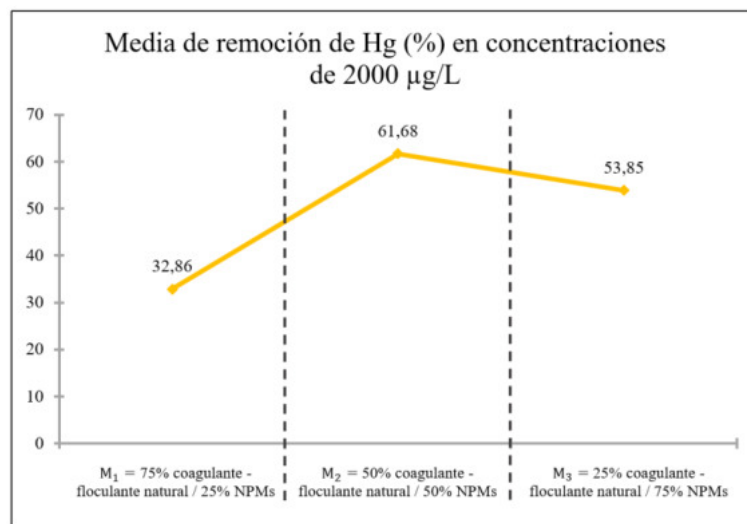


Ilustración 17-4: Media de remoción de Hg (%) en concentraciones de 2000 µg/L

Realizado por: Verdezoto, Miguel, 2023

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- No se obtuvo diferencias significativas entre los porcentajes de remoción de Hg en cuanto al empleo de distinto volumen de coagulante – floculante natural con NPMs en concentraciones de 11 $\mu\text{g/L}$ y 2000 $\mu\text{g/L}$ de Hg.
- Sin embargo, para las UE con concentración de 11 $\mu\text{g/L}$ de Hg y una solución coagulante conformada por un porcentaje de 75 % de coagulante – floculante natural y 25 % de NPMs fue donde se evidenció los mejores resultados, inclusive a llegar por debajo del límite máximo permisible de mercurio en descarga a un cuerpo de agua dulce dispuesto en la normativa ecuatoriana, lo cual se evidencia con la UE₂, donde se obtuvo un 77 % de remoción. Mientras que, con respecto a las UE con concentración de 2000 $\mu\text{g/L}$ de Hg y una solución coagulante conformada por un porcentaje de 50 % de coagulante – floculante natural y 50 % de NPMs fue donde mejores resultados de remoción se constató, donde la UE₁₀ logró un 84,24 % de remoción, siendo el mayor porcentaje registrado con respecto a todos los ensayos realizados.
- Los mejores porcentajes de remoción de Hg se debieron al uso de un mayor porcentaje de coagulante – floculante natural y NPMs, e igual porcentaje de coagulante – floculante natural y NPMs debido a los grupos funcionales presentes que aumentaron la cantidad de iones y la adsorción del Hg.
- La reutilización de las NPMs con respecto a una concentración de 11 $\mu\text{g/L}$ de Hg presentó una remoción del 59,07 %. Mientras que, para una concentración de 2000 $\mu\text{g/L}$ de Hg, presentó una remoción promedio de 32,47 %. Esto demuestra que las NPMs pueden ser reutilizadas ya que presentaron valores similares obtenidos luego de realizar el ensayo de prueba de jarras.
- De acuerdo con la revisión bibliográfica existen otros coagulantes – floculantes naturales con mejores resultados en combinación con NPMs a diferencia del obtenido en el presente proyecto de investigación.
- El beneficio del proceso de obtención del coagulante – floculante natural resulta positivo considerando los porcentajes de remoción de Hg alcanzados.

RECOMENDACIONES

- Realizar la fusión del coagulante – floculante natural con las NPMs por el método de sonicación para mejorar la mezcla de ambos compuestos y que, al momento de realizar la sedimentación con un imán de neodimio, este sea en un menor tiempo posible y a la vez se aumente la reducción de la turbiedad en el agua.
- Realizar los ensayos o el tratamiento en el equipo de Prueba de Jarras con muestras de agua problema y con un pH neutro para verificar el comportamiento de la eficacia de la solución coagulante.
- Ampliar la investigación sobre la eficacia de la solución coagulante con otros tipos de metales pesados y demás parámetros sobre la calidad del agua como la Demanda Química de Oxígeno, Demanda Biológica de Oxígeno, Fósforo total, Nitritos, Materia orgánica y Coliformes totales y fecales.

BIBLIOGRAFÍA

ABIDIN, Z.; et al. “A preliminary study on *Jatropha curcas* as coagulant in wastewater treatment”. *Environmental technology* [en línea], 2011, (Malaysia) 32(9), pp. 971–977. [Consulta: 7 noviembre 2022]. ISSN 0959-3330. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09593330.2010.521955>

ABIDIN, Z.; et al. “Optimisation of a method to extract the active coagulant agent from *Jatropha curcas* seeds for use in turbidity removal”. *Industrial Crops and Products* [en línea], 2013, (Malaysia) 41, pp. 319–323. [Consulta: 23 octubre 2022]. ISSN 0926-6690. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.003>

ADRIANO, D C. *Trace Elements in the Terrestrial Environment* [en línea]. Nueva York-Estados Unidos de América: Springer New York, 1986. [Consulta: 18 octubre 2022]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-1-4757-1907-9_9

AFKHAMI, A.; et al. “Simultaneous removal of heavy-metal ions in wastewater samples using nano-alumina modified with 2, 4-dinitrophenylhydrazine”. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], 2010, (Iran) 181, p. 836. [Consulta: 23 octubre 2022]. ISSN 0304-3894. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.089>

AGUDELO, L., & ARENGAS, Á. “El mercurio, sus implicaciones en la salud y en el ambiente”. *Luna Azul* [en línea], 1998, (Colombia) 4, pp. 1–9. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/1489>

AGUILAR, I.; et al. *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación*. Murcia-España: Editum, 2002. ISBN 84-8371-308-X, p.17.

ALVEAR, D.; et al. “Síntesis y Caracterización de Nanopartículas de Magnetita”. *Revista Politécnica*, vol. 39, n° 2 (2017), (Ecuador) pp. 61–66.

OCHOA, J. *Estadísticas de exportación* [blog]. Ecuador: ANECACAO, 2019. [Consulta: 7 noviembre 2022]. Disponible en: <https://anecacao.com/index2022.html>

ANTOV, M.; et al. 2010. “Proteins from common bean (*Phaseolus vulgaris*) seed as a natural coagulant for potential application in water turbidity removal”. *Bioresource technology*. vol. 101, n° 7 (2010), (Serbia) pp. 2167–2172.

APELLA, M., & ARAUJO, P. *Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación del agua*. San Martín-Argentina: Universidad Nacional de San Martín, 2022, ISBN 987-22523-0-0 pp. 33–50.

ARAQUE, I.; et al. “Fitorremediación en aguas residuales sin tratamiento previo”. *Revista de tecnología* [en línea], 2018, (Colombia) 17(1), pp. 37–48. [Consulta: 5 noviembre 2022]. ISSN 1692-1399. Disponible en: <https://doi.org/10.18270/rt.v17i1.2950>

ARLORIO, I.; et al. “Antioxidant and biological activity of phenolic pigments from Theobroma cacao hulls extracted with supercritical CO₂”. *Food research international*, vol. 38, n° 8–9 (2005), (Italia) pp. 1009–1014.

ARREOLA, M., & CANEPA, J. “Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales”. *Ingeniería*, vol. 17, n° 2 (2013), (México) pp. 93–101.

ASRAFUZZAMAN, M.; et al. 2011. “Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants”. *ISRN Microbiology*. vol. 2011, (2011) (Bangladesh) pp. 6.

BACA, Sergio, & MOORE, Roomel. Determinación de la dosis óptima del coagulante sulfato férrico a partir del pH en el tratamiento del agua de bombeo para la recuperación de harina de pescado de la empresa pesquera Cantabria S.A. – Coishco Trujillo [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería Química, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Química. (Trujillo-Perú). 2016. p. 23. [Consulta: 6 noviembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/8963>

BADILLA, Carolina. Evaluación del grado de contaminación con mercurio (Hg) en laguna La Señoraza: agua, sedimentos y biota (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Ambientales. (Concepción-Chile). 2018. p. 9. [Consulta: 17 octubre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/3403>

BARAKAT, M. “New trends in removing heavy metals from industrial wastewater”. *Arabian journal of chemistry*. vol. 4, n° 4 (2011), (Arabia Saudita) pp. 361–377.

BATISTA, Lépidio. *Guía Técnica El Cultivo de Cacao* [en línea]. Santo Domingo-República Dominicana: Nazario Rizel, C. por A. p. 13. [Consulta: 7 noviembre 2022]. Disponible en: <http://www.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/cacao.pdf>

BECERRIL, José. “Contaminantes emergentes en el agua”. *Revista Digital Universitaria* [en línea], 2009, (México) 10(8), pp. 1–7. [Consulta: 2 noviembre 2022]. ISSN 1067-6079. Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num8/art54/int54.htm>

BELTRÁN, Mayra, & GÓMEZ, Alida. “Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión”. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. vol. 12, n° 2 (2016), (Colombia) pp. 172–197.

BHATIA, S.; et al. “Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using *Moringa oleifera* seeds as natural coagulant”. *Journal of Hazardous Materials*. vol. 145, n° 1–2 (2007), (Malaysia) pp. 120–126.

BODAS, A.; et al. “Metilmercurio: recomendaciones existentes; métodos de análisis e interpretación de resultados; evaluación económica”. *Nutrición Hospitalaria*. vol. 31, n° 1 (2015), (España) pp. 1–15.

BOE. *Normas de calidad ambiental para las sustancias prioritarias y otros contaminantes* [en línea]. España: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 2015. pp. 72. [Consulta: 9 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2015/BOE-A-2015-9806-consolidado.pdf>

BOENING, Dean. “Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review”. *Chemosphere*. vol. 40, n° 12 (2000), (Estados Unidos de América) pp. 1335–1351.

BOLIVAR, Wilfredo. *Ingeniería de Nanopartículas Magnéticas para la remoción de metales pesados en aguas (Trabajo de titulación) (Doctoral)*. [en línea] Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería. (Bogotá D.C.-Colombia). 2018. pp. 92-104. [Consulta: 19 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.10554.39649>

BOURGEOIS, Marcelo, & BARRAGÁN, Horacio. *Desarrollo, salud humana y amenazas ambientales: la crisis de la sustentabilidad* [en línea]. Buenos Aires-Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, 2010. [Consulta: 3 noviembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.35537/10915/26595>

BOYD, Claude. *Conductividad eléctrica del agua, parte 1* [blog]. Estados Unidos de América: Global Seafood Alliance, 2017. [Consulta: 6 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.globalseafood.org/advocate/conductividad-electrica-del-agua-parte-1/>

CABRERA, Génesis. Evaluación de la adsorción de cafeína utilizando cáscaras de naranja y plátano modificadas con magnetita para su remoción de aguas residuales sintéticas (Trabajo de titulación). [en línea] Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. (Quito-Ecuador). 2020. p. 62. [Consulta: 6 noviembre 2022]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20851>

CABRERA, N.; et al. “Ensayo de coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleífera* en la depuración de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias”. *Prospectiva*. vol. 16, n° 2 (2018), (Colombia) pp. 94–99.

CALCINA, Raquel, & MORENO, Yasmin. Una mirada a la nanotecnología y su aplicación ambiental en el tratamiento de aguas para consumo humano (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. (Juliaca-Perú). 2020. p. 7. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12840/3452>

CALDERÓN, Paola. Estado actual de la minería de oro en Ecuador: gran minería vs minería artesanal (Trabajo de titulación) (Maestría). [en línea] Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa. (Manresa-España) [Consulta: 17 octubre 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/335984>

CAPPARELLI, M.; et al. “An integrative approach to identify the impacts of multiple metal contamination sources on the Eastern Andean foothills of the Ecuadorian Amazonia”. *Science of The Total Environment* [en línea], 2020, (Ecuador) 709, p. 136088. [Consulta: 13 diciembre 2022]. ISSN 0048-9697. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136088>

CARRASQUERO, S.; et al. “Remoción de turbidez usando semilla de *Tamarindus indica* como coagulante en la potabilización de aguas”. *Revista Bases de la Ciencia* [en línea], 2019, (Ecuador) 4(1), p. 19. [Consulta: 23 octubre 2022]. ISSN 2588-0764. Disponible en: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i1.1424

CASTAÑEDA, José, & ZÁYAGO, Edgar. “Nanotecnología aplicada al tratamiento de agua en México”. *Humanidades, Tecnología y Ciencia* [en línea], 2016. (México), pp. 1–9. [Consulta: 5 noviembre 2022]. ISSN 2007-1957. Disponible en: <http://ricaxcan.uaz.edu.mx/jspui/handle/20.500.11845/280>

CASTELO, Miguel. Determinación de Arsénico y Mercurio en agua de consumo del cantón Rumiñahui por Espectrofotometría de Absorción Atómica (Trabajo de titulación). [en línea] Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Ciencias Químicas. (Quito-Ecuador). 2015. p. 14 [Consulta: 4 noviembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/8658>

CHAMÉ Karely. Síntesis y Caracterización de Nanopartículas Magnéticas. (Trabajo de titulación) (Maestría). [en línea] Centro de investigaciones en óptica, A.C. (León-México). 2013. p.71. [Consulta: 9 marzo 2023]. Disponible en: <http://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1002/559>

CHÁVEZ, Liliana, & ALPACA, Yulisa. Acción coagulante – floculante del cloruro férrico y el polímero aniónico Floerger AN 910, en el tratamiento químico del agua residual de la laguna de estabilización del Parque Industrial Río Seco (PIRS) (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería de Procesos, Escuela Profesional de Ingeniería Química. (Arequipa-Perú). 2014. p. 49. [Consulta: 6 noviembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3960>

CHÁVEZ, María, & RODRÍGUEZ, Abigail. “Estudio de las condiciones de síntesis de nanopartículas magnéticas de hierro en una montmorillonita cálcica”. *Tendencias en Docencia e Investigación en Química* [en línea], 2021, (México) 7(7), pp. 264. [Consulta: 8 marzo 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11191/9297>

CHEN, H.; et al. “Nitro-oxidized carboxycellulose nanofibers from moringa plant: effective bioadsorbent for mercury removal”. *Cellulose* [en línea], 2021, (Estados Unidos de América), 28(13), pp. 8611–8628. [Consulta: 11 marzo 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04057-5>

CHENG, Z.; et al. “Preparation of magnetic Fe₃O₄ particles modified sawdust as the adsorbent to remove strontium ions”. *Chemical engineering journal* [en línea], 2012, (China), 209, pp. 451–457. [Consulta: 7 noviembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.07.078>

CHULLUNCUY, Nadia. “Tratamiento de agua para consumo humano”. *Ingeniería industrial* [en línea], 2011, (Perú) 2011(29), pp. 153–170. [Consulta: 6 noviembre 2022]. ISSN 1025-9929. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428495008>

COBOS, Eduardo. *Un cultivo tradicional entre los mejores a nivel mundial* [blog]. Ecuador: Gestión Digital, 2021. [Consulta: 7 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.revistagestion.ec/economia-y-finanzas-analisis/ecuador-tiene-en-el-cacao-una-oportunidad-de-oro>

COGOLLO, Juan. “Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio”. *Dyna*. vol. 78, n° 165 (2011), (Colombia) pp. 18–27.

COLOTTA, Salas. “Tratamiento físico-químico de aguas residuales de la industria textil”. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*. vol. 6, n° 2 (2003), (Perú) pp. 64–71.

CONDE, Tatiana, & DOMINGUEZ, Juan. Evaluación de la eficiencia coagulante-floculante de la cáscara de cacao (CCN-51) y yuca (*manihot esculenta*) en agua superficial: Rio Tenguel (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química. (Guayaquil-Ecuador). 2021 [Consulta: 5 diciembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/57968/1/BINGQ-IQ-21P77.pdf>

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. [en línea]. 2008. Disponible en: <https://bde.fin.ec/wp-content/uploads/2021/02/Constitucionultimodif25enero2021.pdf>

CORREDOR, E.; et al. “Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano [Regulating ecosystem services: trends and impact on human well-being]”. *Colombia: Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 3, (2012), (Colombia) pp. 78–80.

CORTIJO, Dora. “Desalcalinización del agua mediante intercambio iónico”. *Ingeniería Industrial*, 2013, vol 1, n° 31 (2013), (Perú) pp. 221–238.

CUENCA, Ana. Problems of eutrophication of surface waters in relation to agriculture. en línea. Gandía (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Politècnica De Valencia, Escuela Politècnica Superior De Gandía. (Ganida-España). 2016. pp.5. [Consulta: 2 noviembre 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/78548/MATEU%20-%20Los%20problemas%20de%20eutrofizaci%3%b3n%20de%20las%20aguas%20superficial%20en%20relaci%3%b3n%20con%20la%20agricultura.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DAVIRAN, John. Remoción de turbiedad y sólidos suspendidos totales con la utilización de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) como coagulante natural en las aguas del Río Chillón (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales. (Callao-Perú). 2021. pp. 39-61 [Consulta: 7 noviembre 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12952/6368>

DÍAZ, A. Aplicación de la tecnología de membranas de nanofiltración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos (Trabajo de titulación) (Doctoral). [en línea] Universidad Rey Juan Carlos, Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología, Departamento de Tecnología Química y Ambiental. (Madrid-España). 2008. pp.21-30 [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10115/4605>

DOMÍNGUEZ, María. Optimización de la coagulación – floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre – Cajasan (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Ambiental, Escuela de Ingenierías y Administración. (Bucaramanga-Colombia). 2010. p.16. [Consulta: 3 diciembre 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/848>

DOTRES P.; et al. “Programa para la atención medica integral a niños expuestos a contaminación ambiental por sustancias radiactivas”. *Revista Cubana de Pediatría*. vol. 67, (1995), (Cuba) pp. 6–12.

DUNHAM, S.; et al. “The effect of natural organic matter on the adsorption of mercury to bacterial cells”. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. vol. 150, (2015), (Estados Unidos de América) pp. 1–10.

EBINGHAUS, Ralf. *Mercury contaminated sites: characterization, risk assessment, and remediation*. Berlin-Germany: Springer Verlag, 1999. ISBN 3-662-03754-8, p.1.

EL UNIVERSO. *Ecuador deja huellas con su chocolate y el comercio justo en el mundo cacaotero, que celebra su día mundial* [blog]. Ecuador: EL UNIVERSO, 2022. [Consulta: 7 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/chocolate-ecuador-comercio-justo-dia-mundial-del-cacao-nota>

ESMERALDAS, Patricia, & ZAMBRANO, Jenny. Evaluación de la concentración de mercurio en agua y sedimento en el río carrizal (Trabajo de titulación). [en línea] Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. (Calceta-Ecuador). 2018. p.48 [Consulta: 13 diciembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/738>

ESPAÑOL, Santiago. “Contaminación con mercurio por la actividad minera. *Biomédica* [en línea], 2012. (Colombia) 32(3), p. 32. [Consulta: 16 octubre 2022]. ISSN 0120-4157. Recuperado a partir de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84324092001>

ESTECHA, M. *Efectos cardiovasculares de los contaminantes ambientales*. Madrid-España: Fundación BBVA, 2009. ISBN 8496515923, p. 631.

ESTUPIÑAN, Sindy, & BERMÚDEZ, Edwin. Utilización de nanopartículas magnéticas en la modificación de coagulante para proceso de tratamiento de agua lluvia (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería. (Bogotá D.C.-Colombia), 2019. pp. 35-50. [Consulta: 18 diciembre 2022]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/288162296.pdf>

FERRERA, R.; et al. “Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos”. *Revista latinoamericana de Microbiología* [en línea], 2006, (México) 48(2), pp. 179–187. [Consulta: 6 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=11470>

FOLADORI, Guillermo. “Riesgos a la salud y al medio ambiente en las políticas de nanotecnología en América Latina”. *Sociológica* [en línea], 2012. (México) 27(77), pp. 143–180. [Consulta: 6 noviembre 2022]. ISSN 0187-0173. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305026759005>

FREITAS, T.; et al. “Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (*A. esculentus*) mucilage as natural coagulant”. *Industrial Crops and Products*, vol. 76, (2015), (Brazil) pp. 538–544.

FÚQUENE, Diana, & YATE, Andrea. “Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales”. *ECAPMA*, vol. 2, n° 1 (2018), (Colombia) p. 5.

GAIOLI, M.; et al. “Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente”. *Arch Argent Pediatr* [en línea], 2012, (Argentina) 3(110), pp. 259–264. [Consulta: 4 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.sap.org.ar/docs/publicaciones/archivosarg/2012/v110n3a18.pdf>

GAMARRA, G.; et al. *Estadística e investigación con aplicaciones de SPSS*. Perú: 2015. p. 264.

GARCÍA, Jorge. Uso de la teoría de redes para modelar la contaminación térmica de la subcuenca del río Quindío (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad del Quindío, Facultad de Educación. (Armenia-Colombia). 2022. p.36 [Consulta: 2 noviembre 2022]. Disponible en: <https://bdigital.uniquindio.edu.co/handle/001/6213>

GARCÍA, Wilder. Caracterización diferencial dendrológica del cacao criollo – *Theobroma cacao l.* de Jaén y San Ignacio – región Cajamarca (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Nacional de Jaén. (Jaén-Perú). 2019. pp. 12-16. [Consulta: 7 noviembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/126>

GHODBANE, Ilhem, & HAMDAR, Oualid. “Removal of mercury(II) from aqueous media using eucalyptus bark: Kinetic and equilibrium studies”. *Journal of Hazardous Materials*. vol. 160, n° 2 (2008), (Algeria) pp. 301–309.

GODDIO, María, & LÓPEZ, Gerardo. “Enhanced settling of mature fine tailings (MFT) by paramagnetic nanofluids based on nanoiron”. *Matéria (Rio de Janeiro)*, vol. 23, (2018), (Brazil) pp. 15–22.

GÓMEZ, Néstor. Remoción de materia orgánica por coagulación – floculación (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. (Manizales-Colombia). 2005. p. 48 [Consulta: 3 diciembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2841>

GONZÁLEZ, M.; et al. “Manganese and Mercury Levels in Water, Sediments, and Children Living Near Gold-Mining Areas of the Nangaritza River Basin, Ecuadorian Amazon”. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 71, n° 2 (2016), (Estados Unidos de América) pp. 171–182.

GUADARRAMA, R.; et al. “Contaminación del agua”. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*. vol. 2, n° 5 (2016), (España) pp. 1–10.

HAVELAAR, A.; et al. *Water quality: Guidelines, standards, and health: Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease* [en línea]. Londres-Inglaterra: IWA Publishing, 2001. [Consulta: 2 noviembre 2022]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42442>

HERNÁNDEZ, M.; et al. “Tratamiento de bajo coste para aguas contaminadas por actividades de minería”. *Diseño y Tecnología para el Desarrollo* [en línea], 2014, (España) 0(1), p. 136. [Consulta: 17 octubre 2022]. Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/view/2505>

HERRERA, María. “Evaluación del almidón de papa como floculante en el tratamiento de aguas residuales domésticas”. *Revista@ limentech, Ciencia y Tecnología* [en línea], 2015, (Colombia) p. 8. [Consulta: 8 marzo 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/230760129.pdf>

HULLA, J.; et al. “Nanotechnology: History and future”. *Human & experimental toxicology*, vol. 34, n° 12 (2015), (Estados Unidos de América) pp. 1318–1321.

IBARRA, D.; et al. “Remoción de metales pesados por coagulación/floculación con un polímero natural”. *Investigación Básica y Aplicada* [en línea], 2019, (México) 7(14), pp. 393–395. [Consulta: 9 marzo 2023]. ISSN: 2007-9478. Disponible en: <http://fcqi.tij.uabc.mx/usuarios/revistaaristas/numeros/N14/61.pdf>

IZQUIERDO, Marta. Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción (Trabajo de titulación) (Doctoral). [en línea] Universidad de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería. (Valencia-España). 2010. pp.20-30. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/52130>

KIRK, R., & OTHEMER, D. *Mercury*. Nueva York-Estados Unidos de América: Encyclopedia of Chemical Technology, 1967. pp. 537–556.

LARA, J.; et al. “Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao”. *Revista ION* [en línea], 2016, (Colombia) 29(2), pp. 113–124. [Consulta: 23 octubre 2022]. ISSN 0120-100X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=342050982010>

LEÓN, Kendy, & MEDINA, Milagros. Eficiencia de remoción del plomo (II) de aguas residuales mineras utilizando almidón de cáscara de papa (*solanum tuberosum*) como coagulante natural (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Química. (Huancayo-Perú). 2021. p.59 [Consulta: 9 marzo 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6862>

LÓPEZ, Gerardo.; et al. “Remediación nanocatalizada de suelos con hidrocarburos”. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, vol. 1, n° 93 (2007), (Argentina) pp. 39–50.

LORENZO, Yaniris. “Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación”. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, vol. 40, n° 2 (2006), (Cuba) pp. 10–17.

MAHBUB, K.; et al. “Bioremediation of mercury: not properly exploited in contaminated soils!”. *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 101, n° 3 (2017), (Estados Unidos de América) pp. 963–976.

MARIÑEZ, Susana. Síntesis y caracterización de nanopartículas magnéticas Fe₃O₄-C como posibles adsorbentes de cationes en aguas residuales en la industria minero-metalúrgica (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad de Sonora. (Sonora-México). 2015. p. 24 [Consulta: 19 diciembre 2022]. Disponible en: <http://148.225.114.121/bitstream/unison/2335/1/marinezenriquezsusanayesenial.pdf>

MARTÍNEZ, G.; et al. “El Extracto de Semillas de Mango (*Mangifera indica* L) como Coagulante Natural en la Potabilización de Aguas”. *Global Partnerships for Development and Engineering Education: Proceedings of the 15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology* [en línea], 2017 (Venezuela). p. 3. [Consulta: 28 enero 2023]. Disponible en: http://www.laccei.org/LACCEI2017-BocaRaton/full_papers/FP227.pdf

MÉNDEZ, Fabián, & ZAPATA-RIVERA, Andrés. “Conflicto armado, contaminación y riesgos en salud: una evaluación de riesgo de tres fuentes de exposición ambiental asociadas con el conflicto en Colombia”. *Biomédica*, vol. 41, n° 4 (2021), (Colombia) pp. 660–675.

MEÑO, Fernando.; et al. “Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú”. *Saber y hacer*, vol. 2, n° 2 (2015), (Perú) pp. 8–25.

MESTANZA, Carlos.; et al. “Gold Mining in the Amazon Region of Ecuador: History and a Review of Its Socio-Environmental Impacts”. *Land* [en línea], 2022, (Ecuador) 11(2), p.21. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/land11020221>

MEZA, María.; et al. “Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico”. *Revista UIS Ingenierías* [en línea], 2018, (Colombia) 17(2), pp. 95–104. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>

MIGUEZ, Concepción, & GUERRERO, Gloria. Emergencias por radiación. *Emergencias pediátricas durante las catástrofes* [en línea], 2021, (España), pp. 52. [Consulta: 2 noviembre 2022]. Disponible en: https://seup.org/pdf_public/gt/Catastrofe_2ed_SEUP.pdf#page=52

MIRANDA, Ruben.; et al. *Tratamiento de aguas: ejercicios resueltos y prácticas de laboratorio* [en línea]. Madrid-España: Dextra Editorial, 2018. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/133347>

MITRA, S. 1986. *Mercury in the Ecosystem its dispersion and pollution today* [en línea]. Suiza: Trans Tech Publications Limited. Retrospective Collection, 1986. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=i0uxDwAAQBAJ>

MOLINA, Carlos.; et al. “Contaminación por mercurio de leche materna de madres lactantes de municipios de Antioquia con explotación minera de oro”. *Biomédica*, vol. 38, (2018), (Colombia) pp. 19–29.

MOLLAH, M.; et al. “Electrocoagulation (EC)—science and applications”. *Journal of hazardous materials*, vol. 84, n°1 (2001), (Estados Unidos de América) pp. 29–41.

MONTENEGRO, Sandra.; et al. *Prácticas de biorremediación en suelos y aguas* [en línea]. Bogotá D.C-Colombia: Sello Editorial UNAD, 2021. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/notas.3451>

MONTOYA, Marcos. Evaluación de 36 clones élites de cacao (*Theobroma cacao L.*), tipos nacional y trinitario, procedentes de huertas tradicionales de la cuenca alta del río guayas (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela de Ingeniería Agronómica. (Los Ríos-Ecuador). 2012. p. 37 [Consulta: 7 noviembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/4218>

MONTÚFAR, Juan.; et al. “Biopolímero en el Tratamiento de Aguas”. *Revista de Investigación Científica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua*, vol. 6, n° 20 (2019), (México) pp. 12–13.

MORA, Abraham.; et al. “Levels of Mn, Zn, Pb and Hg in sediments of the Zamora River, Ecuador”. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, vol. 34, (2018), (Ecuador) pp. 245–249.

MORA, Abraham.; et al. “Heavy Metal Enrichment Factors in Fluvial Sediments of an Amazonian Basin Impacted by Gold Mining”. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* [en línea], 2019, (Ecuador) 102(2), pp. 210–217. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02545-w>

MORALES, Ivelin, & REYES, Rosa. “Mercurio y salud en la odontología”. *Revista de Saúde Pública*, vol. 37, (2003), (Venezuela) pp. 266–272.

MORGADA, M.; et al. “Arsenic (V) removal with nanoparticulate zerovalent iron: effect of UV light and humic acids”. *Catalysis Today*, vol. 143, n° 3–4 (2009), (Argentina) pp. 261–268.

NABI, Shabnum. *Toxic Effects of Mercury*. Springer, 2014. ISBN 978-81-322-1921-7, pp. 201–209.

NOVAL, Virginia.; et al. “Magnetita (Fe₃O₄): Una estructura inorgánica con múltiples aplicaciones en catálisis heterogénea”. *Revista colombiana de química*, vol. 46, n° 1 (2017), (Colombia) pp. 42–59.

NTIAMOAH, Augustine, & AFRANE, George. “Environmental impacts of cocoa production and processing in Ghana: life cycle assessment approach”. *Journal of Cleaner Production* vol. 16, n° 16 (2008), (Ghana) pp. 1735–1740.

NÚÑEZ, Rosmery. Optimización del coagulante sulfato de aluminio en el tratamiento de potabilización del agua de la planta de Chota-Cajamarca (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Química e Industrias, Escuela Profesional de Ingeniería Química. (Lambayeque-Perú). 2018. p.18. [Consulta: 6 noviembre 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/3347>

OBLITAS, José. Producción orgánica de cacao (*Theobroma cacao*) en el valle del río Apurimac, Ene y Mantaro (VRAEM) (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Agronomía. (Lima-Perú). 2015. pp. 3-13. [Consulta: 7 noviembre 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2079>

OKIYAMA, Dayane.; et al. “Cocoa shell and its compounds: Applications in the food industry”. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 63, (2017), (Brazil) pp. 103–112.

OKOYA, Aderonke.; et al. “African Journal of Pure and Applied Chemistry Adsorption of heavy metal ions onto chitosan grafted cocoa husk char”. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, vol. 8, (2014), (Nigeria) pp. 147–161.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. *La desinfección del agua* [en línea]. 1999. [Consulta: 2 noviembre 2022]. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/aguadesi.pdf>

OSORIO, German, & SANABRIA, Liana. “Percepción sobre daños a la salud de la exposición a mercurio en mujeres del municipio de Quinchía, Risaralda”. *Ciencia y Salud Virtual*, vol. 12, n° 2 (2020), (Colombia) pp. 56–62.

PABÓN, S.; et al. “Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión”. *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 14, n° 27 (2020), (Colombia) pp. 9–18.

PÁEZ, Jorge, & MADROÑERO, Christhy. “Aluminatos de sodio obtenidos del sistema Al (NO₃)₃·9H₂O-NaOH a través del método de precipitación controlada”. *Ingeniería e Investigación*, vol. 30, n° 2 (2010), (Colombia) pp. 16–24.

PÉREZ, Nicolás. Síntesis y caracterización de una Zeolita tipo A usando residuos agroindustriales para la aplicación en la remoción de cobre en un medio acuoso (Trabajo de titulación). [en línea] Instituto Politécnico Nacional. (Zacatecas-México). 2017. pp. 45-49. [Consulta: 8 marzo 2023]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/23703>

PÉREZ, R. “La calidad del cacao”. *Memoria programa de capacitación a facilitadores y agricultores en la cadena del cacao. Quito-Ecuador, (2009), (Ecuador) pp. 44–45.*

PICASSO, Gino.; et al. “Preparación de nanopartículas de magnetita por los métodos sol-gel y precipitación: estudio de la composición química y estructura”. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 78, n° 3 (2012), (Perú) pp. 170–182.

QUINTEROS, L., & RODRÍGUEZ, N. “Evaluación de coagulantes de extractos naturales de *Moringa oleifera* y *Jatropha curcas* en las aguas residuales del café”. *Cenicafé*, vol. 69, n° 1 (2018), (Colombia) pp. 68–82.

RAHBAR, Nedereh.; et al. “Mercury Removal From Aqueous Solutions With Chitosan-Coated Magnetite Nanoparticles Optimized Using the Box-Behnken Design”. *Jundishapur J Nat Pharm Prod*, vol. 9, n° 2 (2014), (Iran) pp. 4.

RAJPUT, S.; et al. “Bioremediation-natural way for water treatment”. *J Biol Chem Res*, vol. 29, n° 2 (2012), (India) pp. 86–99.

RAJPUT, S.; et al. “Magnetic magnetite (Fe₃O₄) nanoparticle synthesis and applications for lead (Pb²⁺) and chromium (Cr⁶⁺) removal from water”. *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 468, (2016), (India) p. 334.

RAMÍREZ, M.; et al. “Assessment of Hg-contamination in soils and stream sediments in the mineral district of Nambija, Ecuadorian Amazon (example of an impacted area affected by artisanal gold mining)”. *Applied Geochemistry* [en línea], 2003, (Brazil) 18(3), pp. 371–381. [Consulta: 23 octubre 2022]. ISSN 0883-2927. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00088-4](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00088-4)

RENAULT, François.; et al. “Chitosan for coagulation/flocculation processes—an eco-friendly approach”. *European Polymer Journal*, vol. 45, n° 5 (2009), (Francia) pp. 1337–1348.

RESTREPO, Hernán. Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. (Medellín-Colombia). 2009. p. 9 [Consulta: 3 diciembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2561>

REYES, Yulieth.; et al. “Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria”. *Ingeniería Investigación y Desarrollo 1900-771X* [en línea], 2016, (Colombia) 16(2), pp. 66–77. [Consulta: 23 octubre 2022]. ISSN 1900-771X. Disponible en: <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447>

RIVERA, Zorimar.; et al. “Comparación de coliformes y colifagos como indicadores microbiológicos de la calidad del agua en los embalses Dos Bocas y Las Curias en Puerto Rico”. *Desarrollo de la Conciencia Ambiental para la Protección del Mundo Futuro AIDIS*, 2001, (Puerto Rico) pp. 1–10.

ROCHA, Crystian.; et al. “Use of rice straw as biosorbent for removal of Cu(II), Zn(II), Cd(II) and Hg(II) ions in industrial effluents”. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], 2009, (Brazil) 166 (1), pp. 383–388. [Consulta: 11 marzo 2022]. ISSN 0304-3894. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.11.074>

ROCHA, Leobardo.; et al. “Impacto de la minería del oro asociado con la contaminación por mercurio en suelo superficial de San Martín de Loba, Sur de Bolívar (Colombia)”. *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 34, n°1 (2018), (Colombia) pp. 93–102.

RODRÍGUEZ, Aaron. Estudio de la síntesis y caracterización de nanopartículas de magnetita por métodos electroquímicos (Trabajo de titulación) (Doctoral). [en línea] Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica. 2012. pp. 22–28. [Consulta: 6 noviembre 2022]. Disponible en: <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1021/91>

RODRÍGUEZ, Manuel. *La hidrosfera. El ciclo del agua. La contaminación del agua. Métodos de análisis y depuración. El problema de la escasez del agua.* CENoposiciones, 2009. ISBN 978-84-92767-07-6, pp. 1–26.

ROJAS, Ricardo. “Sistemas de tratamiento de aguas residuales”. *Gestión integral de tratamiento de aguas residuales*, vol. 1, n° 1 (2002), pp. 8–15.

ROMERO, Karla. “Contaminación por metales pesados”. *Revista Científica Ciencia Médica* [en línea], 2009, (Bolivia) 12(1), pp. 45–46. [Consulta: 23 octubre 2022]. ISSN 1817-7433. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426041218013>

RONCANCIO, Darío. Estudio sobre la aplicación de las técnicas de filtración por membrana a los sistemas de tratamientos de aguas residuales (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad La Gran Colombia, Facultad de Ingeniería Civil. (Bogotá D.C-Colombia). 2015. p. 44 [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11396/3462>

RUBINSON, Kenneth, & RUBINSON, Judith. *Profundizando: Frecuencias características* [en línea]. Madrid-España: FARESO, S.A., 2000. [Consulta: 17 febrero 2023]. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1npUrUZdP88ReeFqFtC5Wa2Xy9h17L30m/view>

RUBIO, Diego.; et al. “Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión”. *Ingeniería y región*, vol. 1, n° 13 (2015), (Colombia) pp. 73–90.

RUBIO, María, & BERLANGA, Vanesa. “Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas *t* de Student y ANOVA en SPSS. Caso práctico”. *REIRE* [en línea], 2012, (España) 5(2), p. 88. [Consulta: 17 febrero 2023]. ISSN 1886-1946. Disponible en: <https://doi.org/10.1344/reire2012.5.2527>

RUIZ, Álvaro. “La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales”. *Revista Lasallista de investigación*, vol. 2, n° 1 (2005), (Colombia) pp. 49–56.

SALDARRIAGA, Roddy, & VILLARROEL, Jorge. Determinación de los parámetros de bioadsorción del mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*) como coagulante floculante natural en muestras del Río Congo, cantón El Empalme (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química. (Guayaquil-Ecuador). 2020. p. 56 [Consulta: 22 octubre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/51163>

SÁNCHEZ, Jesús.; et al. “Acacia mearnsii de Wild Tannin-Based Flocculant in Surface Water Treatment”. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, vol. 29, (2009), (España) pp. 119–135.

SHAK, Katrina.; et al. “Coagulation–flocculation treatment of high-strength agro-industrial wastewater using natural *Cassia obtusifolia* seed gum: Treatment efficiencies and flocs characterization”. *Chemical Engineering Journal* [en línea], 2014, (Malaysia) 256, pp. 293–305. [Consulta: 23 octubre 2022]. ISSN 1385-8947. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.093>

SIERRA, Andrés.; et al. “Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante”. *Revista UIS Ingenierías*, vol. 18, n° 4 (2019), (Colombia) pp. 131–138.

SILVA, Elizabeth.; et al. “Inspección preliminar de algunas características de toxicidad en el agua potable domiciliaria, Bogotá y Soacha, 2012”. *Biomédica* [en línea], 2015, (Colombia) 35(2), pp. 152–166. [Consulta: 3 marzo 2022]. ISSN 0120-4157. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84340725016>

SOUZA, Pahlevi.; et al. “Cacao - *Theobroma cacao*”. *Exotic Fruits*, 2018, (Brazil) pp. 69–76.

SUBRAMONIAN, Wennie.; et al. “A comprehensive study on coagulant performance and floc characterization of natural *Cassia obtusifolia* seed gum in treatment of raw pulp and paper mill effluent”. *Industrial Crops and Products*, vol. 61, (2014), (Malaysia) pp. 317–324.

TAFUR, Leidy, & QUEVEDO, Ruby. Alternativa para el tratamiento de aguas residuales cromadas con quitosano extraído del exoesqueleto de camarón (Trabajo de titulación). [en línea]: Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Agroindustrial. (Ibagué - Colombia). 2014. p. 45. [Consulta: 3 diciembre 2022]. Disponible en: <http://repository.ut.edu.co/handle/001/1250>

TOALA, Paola. Inactivación de fósforo en aguas eutróficas mediante la aplicación de nanopartículas magnéticas de hierro (magnetita) (Trabajo de titulación). [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática. (Riobamba-Ecuador). 2019. pp. 46-66. [Consulta: 6 diciembre 2022]. Recuperado a partir de: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/10274>

TORRA, A.; et al. “Policloruro de aluminio en el proceso de potabilización de aguas superficiales”. *Tecnología Del Agua* [en línea], 1998, (España), p. 9. [Consulta: 6 noviembre 2022]. ISSN 0211-8173. Disponible en: https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/policloruro_aluminio.pdf

TRUQUE, Paola. *Armonización de los estándares de agua potable en las Américas* [blog]. 2006. [Consulta: 9 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>

TULSMA. *Normas generales de criterios de calidad para los usos de las aguas superficiales, marítimas y de estuarios* [en línea]. pp. 296. [Consulta: 9 noviembre 2022]. Disponible en: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf

URBINA, Jessica. Remoción de Hg²⁺ en agua mediante un compósito magnético sintetizado a partir de *Sargassum spp.* con injerto de EDTA (Trabajo de titulación) (Maestría). [en línea] Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química. (Querétaro-México). 2022. pp. 37-38. [Consulta: 10 marzo 2023]. Disponible en: <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/3824>

VÉLEZ, Juan. “Los biosólidos: ¿una solución o un problema?”. *P+L* [en línea], 2007. (Colombia) 2(2), pp. 57–71. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/532/1/PL_V2N2_5771_biosolidos.pdf

VERA, Francisco. Síntesis y caracterización de nanopartículas magnéticas de hierro (Magnetita) (Trabajo de titulación). [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática. (Riobamba-Ecuador). 2018. pp. 44-59. [Consulta: 5 diciembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8971>

VERBE, Rafael.; et al. “Utilización de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas”. *Avances: Investigación en Ingeniería*, vol. 11, n° 1 (2014), (Colombia) pp. 70–75.

VINYOLES, E. “La exposición prolongada al mercurio aumenta el riesgo de muerte por hipertensión o ictus”. *Hipertensión y Riesgo Vascular* [en línea], 2007, (España) 24(6), pp. 268–269. [Consulta: 5 noviembre 2022]. ISSN 1889-1837. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1889-1837\(07\)71722-1](https://doi.org/10.1016/S1889-1837(07)71722-1)

VOLESKY, B., & HOLAN, R. “Biosorption of heavy metals”. *Biotechnology Progress* [en línea], 1995, (Canada) 11(3), pp. 235–250. [Consulta: 18 octubre 2022]. ISSN 8756-7938. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/bp00033a001>

WANG, Zong.; et al. “Landfill leachate treatment by a coagulation–photooxidation process”. *Journal of hazardous materials*, vol. 95, n° 1–2 (2002), (China) pp. 153–159.

WEINBERG, Jack. *Introducción al mercurio en el ambiente* [blog]. 2011. [Consulta: 4 noviembre 2022]. Disponible en: https://ipen-china.org/sites/default/files/documents/ipen_mercury_booklet-es.pdf

WINGER, P.; et al. “Effects of Contaminants in Dredge Material from the Lower Savannah River”. *Archives of environmental contamination and toxicology* [en línea], 2000, (Estados Unidos de América) 38, pp. 128–136. [Consulta: 3 marzo 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s002449910016>

YARTO, Mario.; et al. “La contaminación por mercurio en México”. *Gaceta Ecológica* [en línea], 2004, (México) 1(72), pp. 21–34. [Consulta: 5 noviembre 2022]. ISSN 1405-2849. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53907202>

YIN, Chun. “Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment”. *Process Biochemistry* [en línea], 2010, (Malaysia) 45(9), pp. 1437–1444. [Consulta: 23 octubre 2022]. ISSN 1359-5113. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>

ZAMBRANO, R.; et al. “El mercurio y sus consecuencias en la salud”. *Revista Fuente Nueva Época* [en línea], 2017. (México) 5, p. 17. [Consulta: 17 octubre 2022]. ISSN 2007-0713. Disponible en: <http://dspace.uan.mx:8080/bitstream/123456789/287/1/El%20mercurio%20y%20sus%20consecuencias%20en%20la%20salud.pdf>



Cristian Tenelanda S.
03-07-2023.

ANEXOS

ANEXO A: OBTENCIÓN DEL POLVO DE LA CÁSCARA DE CACAO – CCN – 51

(*Theobroma cacao L.*)



Selección y obtención de la cáscara de cacao



Lavado de la cáscara de cacao



Predeshidratación



Deshidratación



Triturado y Molienda



Secado



Tamizado



Peso del polvo de la cáscara de cacao

ANEXO B: ENSAYOS EN EL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS.



NPMs



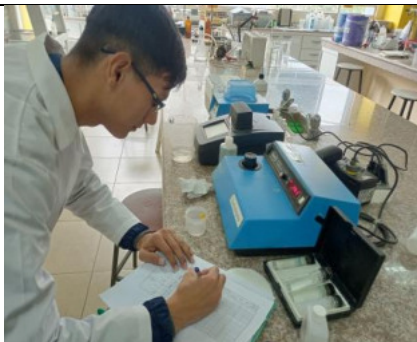
Solución estándar de Hg



Soluciones con diferente porcentaje de coagulante – floculante natural y NPMs



Muestras preparadas y soluciones coagulantes listas para los ensayos en el equipo Prueba de Jarras



Medida de parámetros de Turbiedad, pH, Conductividad y Temperatura.



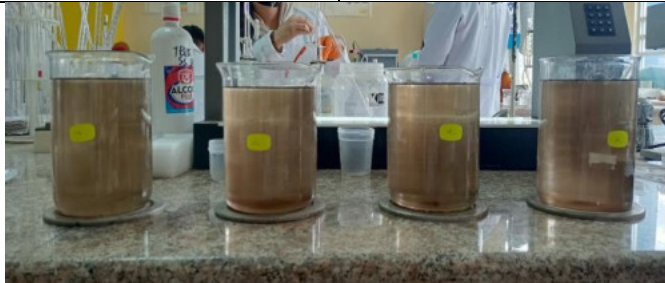
UE en el equipo de Prueba de Jarras a 100 revoluciones por minuto por 1 minuto



Agregado de la solución coagulante a las UE



UE en el equipo de Prueba de Jarras a 20 revoluciones por minuto por 30 minutos



UE en sedimentación con un imán de neodimio en la parte inferior de vaso de precipitación



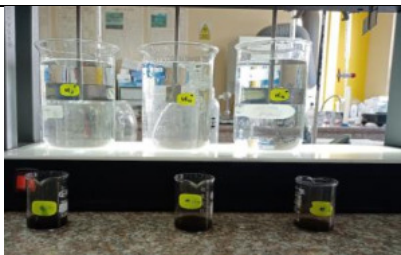
Toma de muestra de 10 mL de cada UE



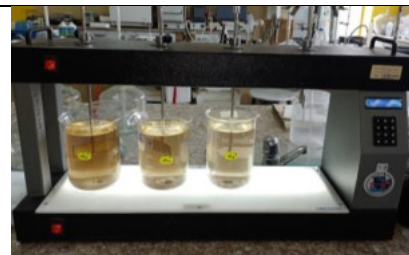
Lavado de NPMs



Secado de las NPMs

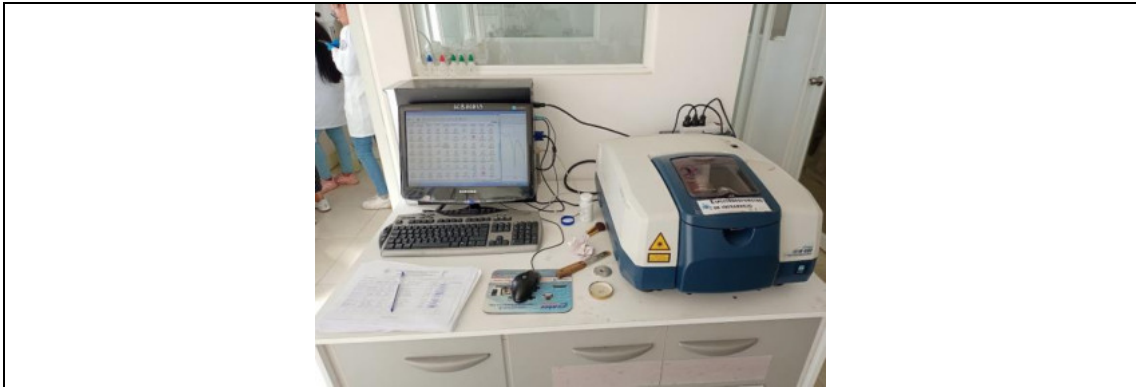


Preparación de las muestras y soluciones coagulantes



Reutilización de las NPMs

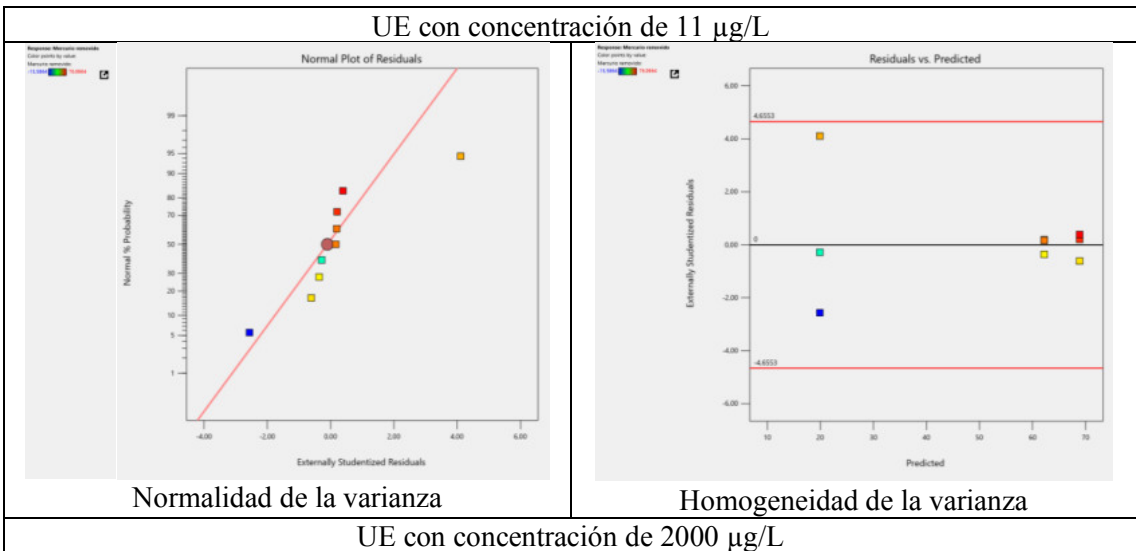
ANEXO C: LECTURA IR DEL COAGULANTE – FLOCULANTE NATURAL Y NPMs.

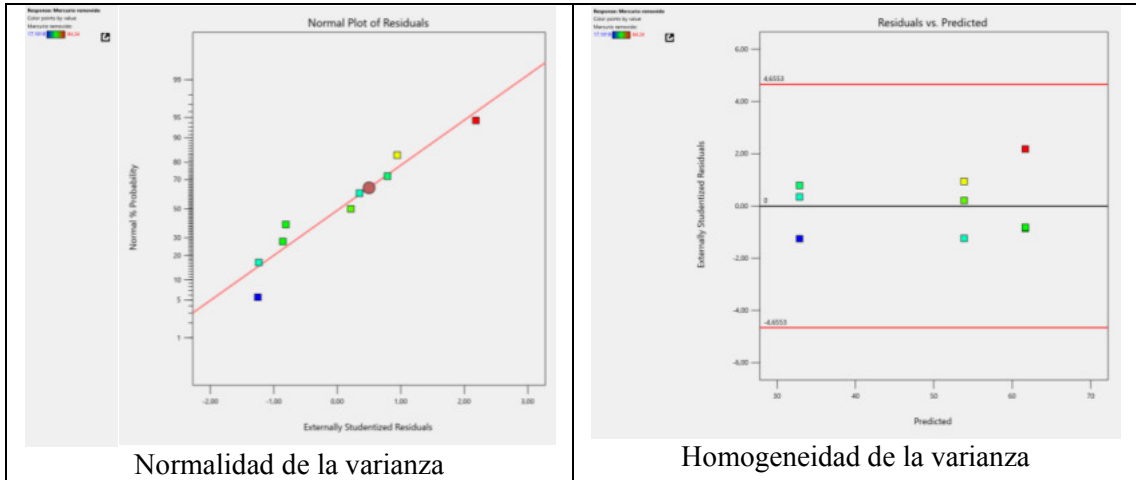


ANEXO D: MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE HG FINAL EN LAS UE LUEGO DE REALIZAR LOS ENSAYOS EN EL EQUIPO ESPECTROFOTÓMETRO DE ADSORCIÓN ATÓMICA.



ANEXO E: NORMALIDAD Y HOMOGENEIDAD PARA LA COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS.





ANEXO D: RESULTADO DE HG RESULTANTE EN CADA UNA DE LAS UE.

Thermo SCIENTIFIC

Nombre Operador: Lab. Investigación
 Fichero Result.: C:\SOLAAR\DATA\MERCURIO\LUIS AÑILEMA\MIGUEL-SEDE.SLR

Método: METODO-MERCURIO
 Automuestr.: Ningún
 Usar SFI: No

Fecha Informe: 10/2/2023 03:49:10

Part of Thermo Fisher Scientific

Parámetros Generales

Operador: Lab. Investigación Modo Instrum.: Vapor
 Dilución: Ninguna

Registro trazabilidad método

14/9/2021 02:20:54 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6
 Registro creado

14/9/2021 02:21:52 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6
 (Método: Método 17) cambiado a (METODO-MERCURIO)
 (Hg Modo Vapor: Calentamiento Llama) cambiado a (Sin Calentamiento)
 (Hg Compartimento Muestra: Mano izquierda) cambiado a (Mano derecha)

14/9/2021 02:23:08 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6
 Detalles de muestra modificados
 Secuencia tarea modificada
 (Hg Ajuste Lineal: Curva Segmentada) cambiado a (Linear)
 (Hg Número de estándares: 1) cambiado a (5)
 (Hg Estándar1 40.0000) cambiado a (5.0000)
 (Hg Estándar2 0.0000) cambiado a (10.0000)
 (Hg Estándar3 0.0000) cambiado a (20.0000)
 (Hg Estándar4 0.0000) cambiado a (30.0000)
 (Hg Estándar5 0.0000) cambiado a (40.0000)

08/11/2021 10:44:44 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6
 (Hg Re-muestras: 3) cambiado a (1)

10/2/2023 02:17:38 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6
 Detalles de muestra modificados
 Secuencia tarea modificada
 (Hg Velocidad Flujo Gas Soporte: 200) cambiado a (180)
 (Hg Velocidad bomba: 40) cambiado a (30)
 (Hg Ajuste Aceptable: 0.995) cambiado a (0.990)

Detalles Análisis

Nombre Análisis: Análisis 4 10/2/2023 Espectrómetro: ICE 3000 AA05170304 v1.30
 Nombre Operador: Lab. Investigación

Resultados Test OQ Actual: No disponible Resultados Test PQ Actual: No disponible

Información lámp.

Elemento(s)	n° de Serie	mA Horas
Hg	n/a	n/a

Horas lámp. Deuterio: 453.82

Detalles Muestra

N°	ID Muestra	Masa Nominal: 1.0000	Masa Muestra	Relac. Dilución
1	UE1	1.0000	1.0000	1.0000
2	UE2	1.0000	1.0000	1.0000
3	UE3	1.0000	1.0000	1.0000
4	UE7	1.0000	1.0000	1.0000
5	UE8	1.0000	1.0000	1.0000
6	UE9	1.0000	1.0000	1.0000
7	UE4	1.0000	1.0000	50.0000
8	UE5	1.0000	1.0000	50.0000
9	UE6	1.0000	1.0000	50.0000
10	UE13	1.0000	1.0000	1.0000
11	UE14	1.0000	1.0000	1.0000

Estación Datos SOLAAR V11.09

pág.1 - Resultados

SOLAAR AA Report

Nombre Operador: Lab. Investigación

Fecha Informe: 10/2/2023 03:49:10

Fichero Result.: C:\SOLAAR\DATA\MERCURIO\LUIS ANILEMA\MIGUEL-SEDE.SLR

Detalles Muestra

N°	ID Muestra	Masa Nominal: 1.0000	
		Masa Muestra	Relac. Dilución
12	UE15	1.0000	1.0000
13	UE10	1.0000	50.0000
14	UE11	1.0000	50.0000
15	UE12	1.0000	50.0000
16	UE16	1.0000	50.0000
17	*UE3	1.0000	1.0000
18	UE17	1.0000	50.0000
19	UE18	1.0000	50.0000
20	*UE10	1.0000	50.0000
21	*UE16	1.0000	50.0000
22	NP	1.0000	100.0000
23	IMP	1.0000	5.0000
24	CABUYA 5H	1.0000	8.0000
25	NPI 5H	1.0000	4.0000
26	NP 5H	1.0000	50.0000
27	CABUYA	1.0000	5.0000
28	STD 20	1.0000	1.0000
29	ID Muestra 29	1.0000	1.0000
30	ID Muestra 30	1.0000	1.0000

Registro de trazabilidad Análisis

10/2/2023 02:17:38 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Registro creado

10/2/2023 03:42:38 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Error MD147 - Actividad abortada manualmente por el usuario.

Resumen Resultados Test OQ

Advertencia: Resultados OQ no disponibles.

Parámetros Espectróm. - Hg

Elemento: Hg	Modo Medida: Absorbancia	Corriente lámp.: 75%
Long. onda: 253.7nm	Rendija: 0.5nm	Optimizar Parámetros Espectróm.: No
Corrección Fondo: D2	Alta Resolución: Apagado	Nº de Re-muestras: 1
Tipo Señal: Continuo	Re-muestras: Rápido	
Tiempo Medida: 4.0sg	Modo Rechazo Datos: No	
Usar Test RSD: No		

Parámetros Vapor - Hg

Modo Vapor: Sin Calentamiento	Kit Vapor: VP100
Compartimento Muestra: Mano dcha	
Velocidad Flujo Gas Soporte: 180mL/min	Velocidad bomba: 30

Parámetros muestreo - Hg

Muestreo: Ninguna

Parámetros Calibrac. - Hg

Modo Calibrac.: Normal	Ajuste Lineal: Linear	Usar Calibr. Almacenada: No
Unidades Concentrac.: µg/L	Unidades Escala: µg/L	Factor Escala: 1.0000
Ajuste Aceptable: 0.990	Re-escalar Limite: 10.0%	Acción Fallida: Señalizar y continuar
Estándar1 5.0000	Estándar4 30.0000	
Estándar2 10.0000	Estándar5 40.0000	
Estándar3 20.0000		

SOLAAR AA Report

Nombre Operador: Lab. Investigación

Fecha Informe: 10/2/2023 03:49:10

Fichero Result.: C:\SOLAAR\DATA\MERCURIO\LUIS AÑILEMA\MIGUEL-SEDE.SLR

Registro de trazabilidad Elemento - Hg

10/2/2023 03:42:47 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Estándar 3 02:22:20 : Borrado

Estándar 3 02:22:20 : Restablecido

10/2/2023 03:44:06 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Estándar 3 02:22:20 : Réplica

10/2/2023 03:46:43 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Estándar 3 03:45:13 : Réplica

Result. Disolución - Hg

ID Muestra	Señal Abs	Rsd %	Conc. µg/L	Conc. Corregida µg/L
Hg Blanco	-0.001		0.0000	
Hg Estándar 1	0.001		5.0000	
Hg Estándar 2	0.009		10.0000	
Hg Estándar 3	0.026		20.0000	
Hg Estándar 4	0.042		30.0000	
Hg Estándar 5	0.060		40.0000	
Hg UE1	-0.000		2.9448	2.9448
Hg UE2	-0.001		2.5304	2.5304
Hg UE3	0.003		4.7836	4.7836
Hg UE7	0.015		12.7145	12.7145
Hg UE8	0.010		9.4564	9.4564
Hg UE9	0.002		4.2596	4.2596
Hg UE4	0.035		24.8556	1242.779
Hg UE5	0.031		22.5489	1127.446
Hg UE6	0.048		33.1592	1657.962
Hg UE13	0.003		4.9786	4.9786
Hg UE14	0.001		3.7111	3.7111
Hg UE15	0.001		3.7750	3.7750
Hg UE10	0.005		6.3040	315.2002
Hg UE11	0.027		19.9520	997.6003
Hg UE12	0.026		19.7291	986.4563
Hg UE16	0.034		24.7087	1235.433
Hg *UE3	0.002		4.5024	4.5024
Hg UE17	0.022		17.2344	861.7191
Hg UE18	0.016		13.4338	671.6888
Hg *UE10	0.043		29.9114	1495.571
Hg *UE16	0.033		24.1207	1206.034
Hg NP	0.051		35.3587	3535.868
Hg IMP	0.034		24.6217	123.1085
Hg CABUYA 5H	0.051		35.4924	283.9391
Hg NPI 5H	0.028		20.4817	81.9268
Hg NP 5H	0.051		35.0390	1751.951
Hg CABUYA	0.038		27.0327	135.1635
Hg STD 20	0.026		19.2597	19.2597



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 07/ 07 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Miguel Angel Verdezoto Carvajal
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniero Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



Cristian Tenelenda.S
03-07-2023.

1232-DBRA-UPT-2023