



Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

Química:

Desvendando propriedades e
comportamentos da matéria

 **Atena**
Editora
Ano 2021



Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

Química:

Desvendando propriedades e
comportamentos da matéria


Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Química: desvendando propriedades e comportamentos da matéria

Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Gabriel Motomu Teshima
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Q6 Química: desvendando propriedades e comportamentos da matéria / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-635-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.352211211>

1. Química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 540

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

O e-book: “Química: Desvendando propriedades e comportamentos da matéria” é constituído por nove capítulos de livro que foram organizados em função da temática avaliada.

Os capítulos I e II apresentam a importância de se analisar as propriedades terapêuticas e os efeitos biológicos adversos provenientes das espécies Jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril*) e a Camomila-Vulgar (*Matricaria recutita*) que são bastante utilizadas na medicina popular e na formulação de fármacos. A primeira possui propriedades anti-inflamatória e antifúngica e uso em caso de doenças respiratórias. Já a segunda, é utilizada na formulação de cosméticos, aromatizantes e propriedades terapêuticas: tratamento da insônia, ansiedade, dispepsia e perturbações estomacais.

O capítulo III apresenta a excelente iniciativa por parte de professores e alunos do IFMT *campus* avançado de Sinop, que relataram os detalhes da iniciativa de produzir quase 4100 L de sabonete líquido destinado a atender a demanda de Centro de Referência de Assistência Social (CRAS), setores e serviços públicos, grupos comunitários e a comunidade interna do IFMT.

Os capítulos de IV a VI procuraram avaliar a eficiência de remoção de poluentes presentes em diferentes matrizes ambientais, respectivamente, a eficiência da enzima *Lacase* na captação e oxidação de corantes em efluentes têxteis, nanopartículas de ferro com extrato orgânico de *Azadirachta indica* para adsorção de mercúrio em águas e aplicação de catalisadores do tipo Perovskita para conversão de poluentes atmosféricos. Os resultados apresentados foram bastante promissores e demandam continuidade das pesquisas com o intuito de ser aplicado em larga escala.

O capítulo VII avaliou a síntese e caracterização de nano compósito magnético funcionalizado com óxido de zinco na superfície pelo método solvotermal assistido por micro-ondas (SAM), que apresentaram resultados promissores para tecnologia em estudos de ótica, catálise e piezoelectricidade. Já o capítulo VIII procurou avaliar os biomarcadores como processos biológicos que podem ocorrer de forma saudável e de forma patogena, podendo desencadear efeitos adversos, entre os quais: obesidade, pré-diabetes e diabetes *mellitus*; indicar e associar doenças como esquizofrenia, asma, Alzheimer, fibrose cística e diversos tipos de cânceres a produção de alguns gases poluentes e presentes na atmosfera. Por fim, o capítulo IX investigou as possíveis causas de derramamento de petróleo em plataformas localizadas no Golfo do México, apontando as possíveis causas que promovem o derramamento e os efeitos adversos a fauna e até mesmo a saúde humana de quem pode vir a ficar exposto a locais de derramamento.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando com o intuito de estimular e incentivar os pesquisadores brasileiros e de outros países a publicarem seus trabalhos

com garantia de qualidade e excelência em forma de livros e capítulos de livros que são disponibilizados no site da Editora e em outras plataformas digitais com acesso gratuito. A associação destes e outros fatores fazem desta Editora, a maior do Brasil em relação à publicação de livros e capítulos de livros resultantes de trabalhos técnicos - científico em todas as áreas do conhecimento.


Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

Hymenaea courbaril: ANÁLISE DE PROPRIEDADES TERAPÊUTICAS E EFEITOS BIOLÓGICOS DESCRITOS NA LITERATURA


Lidiany Damacena Cruvinel
Guilherme Costa Silva
Histeffany de Souza Arantes Dias
Camila Regina do Vale

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112111>

CAPÍTULO 2..... 6

Matricaria recutita: ANÁLISE DE PROPRIEDADES TERAPÊUTICAS E EFEITOS BIOLÓGICOS DESCRITOS NA LITERATURA


Guilherme Costa Silva
Lidiany Damacena Cruvinel
Juliano Kenzo Watanabe Santana
Camila Regina do Vale

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112112>

CAPÍTULO 3..... 11

O ESSENCIAL: O SABONETE QUE LAVA, HIGIENIZA E PROTEGE


Gilma Silva Chitarra
Fernanda Assis de Oliveira Nascimento
Hélio Coelho de Ornellas
Emerson Rodrigo Coletto
Tony Vicente de Oliveira
Senilde Solange Catelan
Cristiane Silva Chitarra
Bruno Rafael da Silva
Renata Luiza de Castilho Rossoni
Geise Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112113>

CAPÍTULO 4..... 21

IMOBILIZAÇÃO DE ENZIMA LACASE E SUA EFICIÊNCIA NA OXIDAÇÃO E CAPTAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS

Verônica Távilla Ferreira Silva
Pedro Nascimento
Alex Fernando de Almeida
Ezequiel Marcelino da Silva


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112114>

CAPÍTULO 5..... 35

SÍNTESES DE NANOPARTÍCULAS DE HIERRO (FeNPs) CON EXTRACTO ORGÁNICO DE *Azadirachta indica* (NEEM) PARA LA ADSORCIÓN DEL MERCURIO EN EL AGUA

Marcel Oswaldo Méndez Mantuano
Gregorio Humberto Vásquez Montúfar


Ida Ivete Campi Mayorga
Bayardo David Caicedo González

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112115>

CAPÍTULO 6..... 61

ESTUDO DE CATALISADORES TIPO PEROVSKITA VISANDO A CONVERSÃO DE POLUENTES


Júlia Alanne Silvino dos Santos
Symone Leandro de Castro
Davidson Nunes de Oliveira
Filipe Martel de Magalhães Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112116>

CAPÍTULO 7..... 74

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANO COMPÓSITO SUPERPARAMAGNÉTICO FUNCIONALIZADO COM WURTZITA POR MÉTODO SOLVOTERMA ASSISTIDO POR MICRO-ONDAS


Felipe Abreu da Silva
Marcelo Pereira da Rosa
Sergio da Silva Cava
Paulo Henrique Beck

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112117>

CAPÍTULO 8..... 82

POTENCIALIDADE DA TÉCNICA FOTOACÚSTICA PARA A DETECÇÃO DE BIOMARCADORES RESPIRATÓRIOS


Liana Genuncio Silva
Arthur George Tissi Batista
Rosana dos Santos Pereira
Leonardo Mota
Marcelo Silva Sthel
Marcelo Gomes da Silva
Maria Priscila Pessanha de Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112118>

CAPÍTULO 9..... 98

CAUSAS DE DERRAMES PETROLEROS EN PLATAFORMAS SEMISUMERGIBLES EN EL GOLFO DE MEXICO

María Patricia Torres Magaña
Miguel Guardado Zavala
Ana Laura Fernández Mena
María Rivera Rodríguez
Karina González Izquierdo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112119>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 106

ÍNDICE REMISSIVO 107

SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE HIERRO (FeNPs) CON EXTRACTO ORGÁNICO DE *Azadirachta indica* (NEEM) PARA LA ADSORCIÓN DEL MERCURIO EN EL AGUA

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 22/09/2021

Marcel Oswaldo Méndez Mantuano

Magister en Gestión Ambiental
Instituto Superior Tecnológico Juan Bautista
Aguirre
Daule – Ecuador
<https://orcid.org/0000-0001-7451-8994>

Gregorio Humberto Vásconez Montúfar

Doctor de Ciencias Agrarias
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo – Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-1260-8075>

Ida Ivete Campi Mayorga

Doctora en Educación
Instituto Superior Tecnológico Juan Bautista
Aguirre
Daule – Ecuador

Bayardo David Caicedo González

Diplomado Superior en evaluación de la
Calidad y Acreditación de la educación Superior
Instituto Superior Técnico Rey David
Daule - Ecuador

RESUMEN: Las nanopartículas de hierro (FeNPs), han demostrado poseer propiedades en la reducción de contaminantes en el agua, dado su tamaño molecular, forma, estado de oxidación, potencial redox, alta área superficial, alta capacidad de adsorción y reactividad. En los protocolos no ecológicos, se usa el amoníaco

como agente reductor del hierro, pero este es muy contaminante, por ello, existe un creciente interés en desarrollar procesos de síntesis que reduzcan la aplicación de productos químicos tóxicos, ya que investigaciones han comprobado que el uso de los extractos orgánicos, resultan una opción promisoriosa, dado que contienen entre sus componentes, agentes reductores químicos aptos para la síntesis de las nanopartículas. Esta investigación describe la síntesis de las nanopartículas de hierro (FeNPs), utilizando el extracto orgánico de *Azadirachta indica* (neem), mediante un proceso optimizado con cloruro ferroso, cloruro férrico y una mínima cantidad de amoníaco. Posteriormente se las caracteriza a través de las técnicas SEM, XDR y EDS, para finalmente evaluarlas en diferentes concentraciones de Fe en presencia de Hg, y así determinar si existe una inactivación de las propiedades contaminantes de dicho metal en el agua. Las nanopartículas sintetizadas con el protocolo 1, muestran un mejor desempeño en relación a la cantidad de magnetita seca producida, menor tamaño, y razón atómica armónica en sus muestras. Las nanopartículas sintetizadas con el protocolo 2, presentan rangos de desempeño aproximados a los obtenidos por el protocolo 1, incluso en algunos desempeños, no existe significancia estadística entre los resultados de los dos protocolos. Las nanopartículas sintetizadas con el protocolo 3, mostraron la menor cantidad de magnetita seca producida, no se logró cuantificar el tamaño, ya que no se obtuvieron las respectivas imágenes del SEM, y los porcentajes de Fe son bajos en la correspondiente razón atómica.

PALABRAS CLAVE: Magnetita, complexometría, amoníaco, caracterización, protocolos.

SYNTHESIS OF IRON NANOPARTICLES (FENPS) WITH ORGANIC EXTRACT OF *Azadirachta indica* (NEEM) FOR THE ADSORPTION OF MERCURY IN WATER

ABSTRACT: The iron nanoparticles (FeNPs) have been shown to have properties in the reduction of contaminants in water, given their molecular size, shape, oxidation state, redox potential, high surface area, high adsorption capacity and reactivity. In non-ecological protocols, ammonia is used as an iron-reducing agent, but this is very polluting, therefore, there is a growing interest in developing synthesis processes that reduce the application of toxic chemicals, since research has shown that the use of organic extracts is a promising option, given that they contain among their components, chemical reducing agents suitable for the synthesis of nanoparticles. This research describes the synthesis of iron nanoparticles (FeNPs), using the organic extract of *Azadirachta indica* (neem), through an optimized process with ferrous chloride, ferric chloride and a minimum amount of ammonia. Later they are characterized through the SEM, XDR and EDS techniques, to finally evaluate them in different concentrations of Fe in the presence of Hg, and thus determine if there is an inactivation of the contaminating properties of said metal in the water. The nanoparticles synthesized with protocol 1, show a better performance in relation to the quantity of dry magnetite produced, smaller size, and harmonic atomic ratio in their samples. The nanoparticles synthesized with protocol 2, present performance ranges approximating those obtained by protocol 1, even in some performances, there is no statistical significance between the results of the two protocols. The nanoparticles synthesized with protocol 3, showed the lowest amount of dry magnetite produced, it was not possible to quantify the size, since the respective SEM images were not obtained, and the percentages of Fe are low in the corresponding atomic ratio.

KEYWORDS: Magnetite, complexometry, ammonia, characterization, protocols.

INTRODUCCIÓN

Estudios demuestran la alta movilidad de los metales pesados como el mercurio en alimentos derivados de la agricultura, dado que los riegos son realizados con fuentes hídricas afectadas (Chen *et al.* 2013, Li *et al.* 2015); también se reporta la bioacumulación de estos metales en las carnes rojas, blancas y leche que consumimos, ya que son ingeridos indirectamente por los animales y estos compuestos forman parte de sus tejidos y huesos (Li *et al.* 2015, Reyes *et al.* 2016, Tejada *et al.* 2015).

El mercurio está presente en tres formas básicas que son: mercurio elemental, sal inorgánica de mercurio y mercurio orgánico; este último es de mayor importancia para la salud humana, ya que en combinación con otros elementos se forma el metilmercurio, etilmercurio y fenilmercurio (Raimann *et al.* 2014).

Está documentada que una larga exposición del mercurio elemental trae problemas a la salud, como el riesgo de padecer hidrargirismo o mercurialismo, que se traducen en déficits orgánicos, problemas neurológicos, cognitivos y psicológicos de las personas

expuestas. Tanto el mercurio metálico, como el inorgánico, tienen el potencial de convertirse en un mercurio orgánico en su forma metálica (metilmercurio) con solo la presencia del agua, el mismo que es la forma más tóxica para los seres humanos, este compuesto puede ser bioacumulado por organismos acuáticos y biomagnificado a través de la cadena alimenticia (Español 2012).

Por otro lado, el estudio de las propiedades de los nanomateriales radica en los comportamientos asociados a una mayor área superficial, diferente proporción del volumen y a los efectos de las leyes cuánticas (leyes como la gravedad, no afectan a las nanoestructuras); la suma de estos factores cambia significativamente la reactividad de las sustancias o compuestos, aumentan las propiedades catalíticas, mecánicas, eléctricas, entre otras (Chaturvedi *et al.* 2012, Chávez 2018).

Entre las características de las nanopartículas, esta posee propiedades dependientes del tamaño y la forma, a su vez, son afectadas por el método y las condiciones de síntesis con las que se obtuvieron (Mittal *et al.* 2013). El método más usado para sintetizarlas utiliza reductores como el borohidruro de sodio (NaBH_4), amoníaco (NH_3), hidrógeno, citratos y solventes como el agua u orgánicos como el tetrahidrofurano y el N, N-dimetilformamida (Moritz y Geszke 2013).

La mayoría de los reductores para la síntesis de las nanopartículas, son altamente nocivos para el medio ambiente, en la actualidad el uso de extractos vegetales líquidos para sintetizar nanopartículas (como reductores) es una opción promisoría para este proceso, dado los bajos costos derivados y que presenta nulos efectos negativos; además, se enmarca en la denominada química verde (Sharma *et al.* 2009). El uso de este tipo de metodologías para la síntesis ofrece varias posibilidades en el ámbito ambiental, teniendo en cuenta la gran diversidad de plantas existentes que poseen un amplio rango de metabolitos, que incluye agentes reductores y estabilizantes en su composición orgánica (Roy *et al.* 2013).

Los métodos tradicionales para la obtención de las nanopartículas metálicas consisten en la reacción de una sal o complejo del metal en disolución, con un reductor como el borohidruro sódico (NaBH_4), el amoníaco (NH_3) u otros complejos inorgánicos, en presencia de algún agente estabilizante o dispersante (polímero, coloide, surfactante o agente complejante), que evite la aglomeración del metal (Casal 2015).

Al reducirse los iones metálicos, se forman los centros de nucleación, los mismos que secuestran otros iones metálicos libres y también incorporan lugares vecinos de nucleación, que en algunos casos permiten la formación de las nanopartículas; adicionalmente la biosíntesis otorga la posibilidad de controlar el tamaño de las nanopartículas que se formen, con solo alterar la concentración de los extractos vegetales (Hebbalalu *et al.* 2013).

Los extractos de origen vegetal contienen en su mayor parte alcaloides, proteínas, enzimas, aminoácidos, alcoholes, terpenoides, flavonoides, polifenoles y glúcidos, que se considera que serían los responsables de la reducción de los iones presentes en las

soluciones; sin embargo, esto sigue siendo materia de estudio por varios investigadores a nivel mundial (Sharma *et al.* 2009).

Numerosos estudios han demostrado que los nanomateriales derivados de la nanotecnología tienen gran capacidad y potencial en el tratamiento de las aguas contaminadas o residuales, en particular, en el área de la adsorción (Ai y Jiang 2012), de aplicación de membrana (Pendergast y Hoek 2011), oxidación catalítica (Ayati *et al.* 2014), desinfección y detección (Das *et al.* 2015). Una de las nanotecnologías disponibles comercialmente, son las nanopartículas de hierro cero valentes, las cuales son aplicadas mediante la inyección de las nanopartículas en las aguas subterráneas (Karn *et al.* 2011, Tesh y Scott 2014).

En relación con lo expuesto, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo emplear el extracto vegetal acuoso de *Azadirachta indica* (neem), para la síntesis de nanopartículas de hierro (FeNPs). Esta especie vegetal fue seleccionada teniendo en cuenta la abundancia en la región y que los datos bibliográficos corroboran su alto nivel de posibles agentes reductores.

Luego de la síntesis, se procede a caracterizar las nanopartículas obtenidas, mediante: microscopía electrónica de barrido (SEM), difracción de rayos X (XDR) y espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS), con los que se podrá obtener el tamaño, forma, y estructura química de las nanopartículas. Finalmente se evalúa la capacidad de adsorción de la magnetita (en diferentes concentraciones), en solución de agua con una dosis estándar de mercurio.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación es cualitativa de tipo experimental, ya que se evaluaron las nanopartículas de hierro (FeNPs) en una solución de mercurio y agua, a través de la valoración complexométrica, el cual es un análisis volumétrico no invasivo basado en la formación de compuestos poco disociados, capaz de producir un cambio de color nítido, para indicar los niveles de mercurio presentes en la solución acuosa. Por lo tanto, se visualizan los resultados en escalas de colores, de tal manera que no pueden ser tabulados dichos efectos.

Adicionalmente la investigación es de carácter cuantitativa, ya que se determinó el peso aproximado de la magnetita en tres protocolos de obtención o también denominados “tratamientos” (basado en 3 dosis de NH_3 y dos concentraciones de extracto de neem, se detalla en el cuadro I), con 5 repeticiones cada uno; posteriormente se aplica un Diseño Completamente al Azar (DCA) detallado en el respectivo cuadro de ANOVA, para determinar el mejor protocolo en producir una mayor concentración de magnetita seca.

Se procedió a realizar el siguiente protocolo de síntesis de las nanopartículas:

1. En un vaso de precipitación de 500 mL se colocan 10 mL de agua destilada y se

añaden 3.58 gramos de $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0.18 M), después 9.73 gramos de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0.36 M)

2. Se enrasa (nivela) el vaso de precipitación con agua destilada, hasta llegar a 100 mL (80 mL u 60 mL, dependiendo del protocolo)
3. Se coloca el vaso de precipitación en la plancha calentamiento, hasta llegar a 50 °C
4. Se ajusta el agitador magnético (de la plancha de calentamiento) a 400 revoluciones por minuto (rpm)
5. Se añaden las dosis de amoníaco, previamente mezcladas con las dosis del extracto de neem (al llegar a 50 °C)
6. Se deja la mezcla en la plancha de calentamiento durante 30 minutos
7. Se añade una mínima cantidad de CMC (carboximetil celulosa) que es un estabilizante, para que las nanopartículas se expandan en toda la mezcla y no estén pegadas unas con otras, y se deja reposar durante 20 minutos
8. Con la ayuda de un imán se deja decantar las nanopartículas
9. Se lava las nanopartículas con agua destilada, hasta llegar a un pH de 7.5

El protocolo para la síntesis verde de las nanopartículas de hierro (FeNPs), consistió en la aplicación de los 9 ítems anteriormente indicados, difiriendo únicamente en los puntos 2 y 5, donde se realizaron las siguientes concentraciones de amoníaco, extractos de neem y agua destilada:

Protocolos	Cantidad de amoníaco	Cantidad de extracto	Cantidad de agua destilada
P1: Protocolo estándar	5.79 mL	0 mL	100 mL
P2: Protocolo con mínimo de extracto de neem	4 mL	20 mL	80 mL
P3: Protocolo con máximo de extracto de neem	2 mL	40 mL	60 mL

Cuadro I. Cantidad de amoníaco, extracto de neem y agua destilada en cada uno de los protocolos para la síntesis de las nanopartículas

Seguidamente se procede a secar las nanopartículas de hierro (FeNPs), mediante el siguiente protocolo:

1. En una caja petri se depositan 10 mL de la solución acuosa con nanopartículas de hierro (FeNPs)
2. Se colocan las nanopartículas de hierro (FeNPs) en la estufa a 105 °C durante 2

horas

3. Se deja reposar durante 1 hora y se las tritura con la ayuda de un mortero, hasta que las nanopartículas secas tengan un diámetro relativamente homogéneo

Por cada protocolo se secan 5 muestras, y se toman los pesos de cada una de ellas, para determinar los promedios de los pesos en cada protocolo.

Para el análisis estadístico se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA), con tres tratamientos (protocolos) y 5 réplicas de cada uno (muestras), se lo comparó al 5 y 1 %, el cálculo de coeficiente de variación (C.V.) se lo expresó en porcentajes.

A las hojas de neem utilizadas en este estudio, se les aplicó el siguiente protocolo para la obtención del extracto vegetal:

1. Se realiza un lavado (a las hojas) para eliminar posibles impurezas provenientes del campo
2. El material es secado en la estufa a 105 °C durante 24 horas
3. Se triturarán en un molino y se tamizaron para obtener un tamaño de 0.5 y 1 mm
4. Se agrega 2 g de hojas secas trituradas por cada 100 mL de agua destilada, en un destilador durante 40 minutos
5. Una vez obtenido los extractos, se separaron de la parte sólida mediante una doble filtración al vacío, la primera utilizando un filtro convencional y la segunda un filtro de nitrato de celulosa con un tamaño de poro de 0.45 μm .
6. Modificar el pH usando la solución básica del hidróxido de sodio, el cual se lo aplica por goteo agitando la muestra hasta llegar a un pH entre 9 y 10 (estos rangos son los necesarios para iniciar las reacciones químicas)

Los tres protocolos realizados (basado en 3 dosis de NH_3 y dos concentraciones de extracto de neem), fueron analizados en los laboratorios del Centro de Nanociencia y Nanotecnología (CENCINAT), de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) en Ecuador.

Para la caracterización de las nanopartículas de hierro (FeNPs), son necesarias las muestras en estado líquido y sólido, dependiendo del análisis que se vaya a realizar. Los protocolos para preparar las muestras son los siguientes:

Tipo de análisis	Estado de la muestra para el análisis	Protocolo para preparación de la muestra (Avilés y Mendieta 2017, Centro de Nanociencia y Nanotecnología 2017)
SEM	Estado sólido	Se recuperaron las muestras previamente secas del portaobjetos, a continuación, el polvo recolectado fue colocado en un soporte para microscopía electrónica y cubiertas con un material conductor utilizando el evaporizador de oro Sputter Coating Quorum Q105R (15 mA y 80 mTorr por 30 segundos). Finalmente, los portamuestras fueron introducidos al microscopio electrónico de barrido TESCAN MIRA 3 alto vacío y fueron observadas con un voltaje de 30 kV a diferentes magnificaciones (escalas)
XDR	Estado sólido	Para llevar la muestra del estado líquido al estado sólido, es necesario depositarla en un matraz y decantarla con la ayuda de imanes, los cuales se los deja reposar durante 1 hora. Seguidamente se elimina el sobrante del agua, de tal manera que exista una pequeña lámina de esta sobre el precipitado de las nanopartículas. Esta mezcla es sometida a un centrifugado en tubos falcon de 45 mL durante 20 minutos (se enraza con agua destilada), y se repite varias veces este procedimiento, hasta obtener un líquido translúcido. Finalmente, las muestras son llevadas a un liofilizador, el cual las somete a una presión de 0 Torr y una temperatura de -40°C, y después de 15 horas toda el agua ha sido removida de las muestras. Sobre un portaobjetos limpio se colocó 500 uL muestra y se deja secar a 30°C hasta evaporar el solvente. A continuación, las muestras fueron analizadas en modo <i>Configuration</i> : Flat bajo las siguientes condiciones: Scan mode: Continuous Start angle (°): 5.0000 End angle (°): 90.0030 Step size (°): 0.0167 Time per step (s): 40.05 Net time per step (s): 40.05 Scan speed (°/s): 0.000417
EDS	Estado sólido	Se realiza inicialmente el mismo protocolo para el análisis SEM. Para el análisis químico EDS se trabajó a 25 kV con una distancia de trabajo de 25 mm, se analizaron 20 puntos con una duración de 1 minuto cada uno.

Cuadro II. Protocolo para caracterizar las nanopartículas de hierro (FeNPs) para los análisis SEM, XDR y EDS

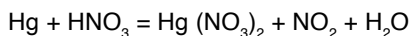
Obtenida la información (por cada técnica), se procedió a realizar los siguientes análisis:

1. SEM: se observó a las nanopartículas a cuatro escalas (o magnificaciones) 500 nm, 1, 5 y 50 μm . Se realizó un análisis de las características (forma y tamaño) que presentan las nanopartículas de hierro (FeNPs), en cada uno de los protocolos
2. XRD: los datos del archivo "ASC" se los ingresa en el programa X'Pert HighScore Plus, el cual realiza un difractograma que es comparado en la base de datos del programa y determina los minerales que se encuentran en cada una de las muestras. Se realizaron 18 análisis (6 por cada protocolo)
3. EDS: se realizó en mapeo (búsqueda) de elementos en 20 puntos de cada muestra (una por protocolo). A través de los promedios en la que se encuentran los elementos en los 20 puntos, se determinaron las diferentes razones atómicas de cada protocolo de síntesis

Las nanopartículas de hierro (FeNPs) sintetizadas con extracto de neem, fueron

evaluadas en una forma química con mercurio (nitrato de mercurio II).

Para la obtención del Hg (NO₃)₂ (nitrato de mercurio II), fue necesario la mezcla del mercurio elemental con el ácido nítrico (HNO₃), teniéndose la siguiente reacción química:



Consecutivamente se procede a la preparación de varias disoluciones de las nanopartículas de magnetita (Fe₃O₄) obtenidas por los tres protocolos establecidos, con la respectiva adición de la sal de mercurio, de la siguiente manera:

Tratamientos	Fe ₃ O ₄ (Magnetita)	PPM de Fe	Hg (NO ₃) ₂ (nitrato de mercurio II)	PPM de Hg	Tubos de ensayo con agua destilada
P1 (0 mL de extracto de neem)	10.36 mg	300	4.04 mg	100	25 mL
	6.91 mg	200	4.04 mg	100	25 mL
	3.45 mg	100	4.04 mg	100	25 mL
P2 (20 mL de extracto de neem)	10.36 mg	300	4.04 mg	100	25 mL
	6.91 mg	200	4.04 mg	100	25 mL
	3.45 mg	100	4.04 mg	100	25 mL
P3 (40 mL de extracto de neem)	10.36 mg	300	4.04 mg	100	25 mL
	6.91 mg	200	4.04 mg	100	25 mL
	3.45 mg	100	4.04 mg	100	25 mL

Cuadro III. Concentraciones de Fe y Hg en PPM (partes por millón) en cada uno de los protocolos de síntesis, para evaluar la efectividad de las nanopartículas

A las dosificaciones anteriormente indicadas (3 por cada tratamiento), se debe adicionar 5 gotas de la disolución de NET (negro de eriocromo T), para establecer de manera visual si las nanopartículas de magnetita están neutralizando al mercurio.

Para la realización de la escala complexométrica, se prepara una disolución de NET (negro de eriocromo T), de la siguiente forma:

1. En un vaso de precipitación de 20 mL, se diluyen 30 mg de NET con agua destilada
2. Se deja reposar en oscuridad 1 hora

La escala complexométrica se realiza con las siguientes cantidades de productos:

Hg (NO ₃) ₂	PPM de Hg	Cantidad de agua destilada
4.04 mg	100	25 mL
3.03 mg	75	
2.02 mg	50	
1.01 mg	25	
0 mg	0	

Cuadro IV. Determinación de la escala complexométrica, a través de 5 dosis de Hg (en PPM) diluido en agua

A cada tubo de ensayo se agrega 5 gotas de la disolución de negro de eriocromo T.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

SÍNTESIS DE LAS NANOPARTÍCULAS DE HIERRO (FeNPs)

Las nanopartículas de magnetita se formaron de manera inmediata, cuando a la solución a base de $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ y $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, se le añadió la mezcla de NH_3 y el extracto de neem, formando un concentrado de un color oscuro intenso, siendo esta la presencia de hierro en su forma Fe_3O_4 . En todos los tres protocolos se evidenciaron estos cambios, siendo el protocolo 1 (P1), el que manifestó una tonalidad más oscura.



Figura 1. Magnetismo de las nanopartículas de hierro (FeNPs)

En cada uno de los protocolos se evaluó la cantidad (en peso) de magnetita que dicho protocolo logró formar, con las diferentes dosis de NH_3 y del extracto de neem. Se procedió a secar 5 muestras de cada uno de los protocolos de síntesis, obteniéndose los siguientes pesos de cada una de las muestras:

Muestras (M)	Protocolos (P)		
	P1	P2	P3
M1	917	795	397
M2	873	804	412
M3	902	866	366
M4	954	754	561
M5	895	612	378

Σ	4541	3831	2114
X	908.2	766.2	422.8

* Los valores expuestos son en miligramos

Cuadro V. Pesos de 5 muestras de magnetita en cada uno de los tres protocolos de síntesis

De los anteriores datos se estableció el siguiente cuadro de ANOVA:

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F. "C"	F. "T"	
					5 % (*)	1 % (**)
Tratamiento	2	622834.53	311417.27	57.59*	3.89	6.93
Error	12	64886.4	5407.2			
Total	14	687720.93				
C.V. (%) = 11		X= 699.07				

Cuadro VI. Anova de los pesos de la magnetita en los 3 protocolos de síntesis

El valor de F "C" de 57.59 expresa que existe una alta significancia (**) entre los 3 protocolos propuestos, y el valor del coeficiente de variación de 11 % (C.V.), indica que no existe una amplia variación entre los resultados en cada uno de los protocolos (P1, P2, P3). Se obtuvieron los siguientes promedios en cada protocolo:

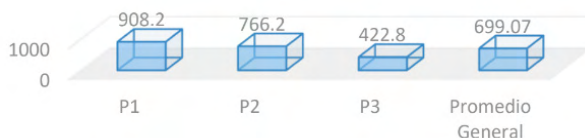
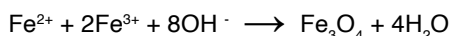


Figura 2. Promedio del peso (mg) de las nanopartículas secas en cada protocolo

Según la figura 2, existe una correlación directa entre la formación de nanopartículas y la cantidad de NH_3 utilizada para la síntesis, es por ello, que el protocolo 1 (P1) tiene la mayor cantidad de nanopartículas secas en 10 mL de la solución acuosa, dado que en el mismo se usaron 5.79 mL de NH_3 , mientras que los protocolos 2 y 3 (P2, P3), tienen una menor capacidad para la formación de las mismas, y coincidentemente tienen las menores cantidades de NH_3 (4 y 2 mL, respectivamente) y mayores concentraciones de extracto de neem, utilizados para la síntesis. Para que existiera la formación de las nanopartículas de hierro (FeNPs) en forma de magnetita, es necesario el siguiente balance químico:



Los aportes de Fe^{2+} y Fe^{3+} fueron dados por el cloruro de hierro III ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) y el cloruro de hierro II ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), en una relación molar que según Noval *et al.* (2016), debe estar comprendida en 2:1 (2 el FeCl_3 y 1 el FeCl_2). Este delicado equilibrio determina las

propiedades físicas y químicas de las moléculas sintetizadas.

El NH_3 cumple la función de precipitar los átomos de hierro, y mientras son separados de las estructuras moleculares, estos forman enlaces agrupados trivalente de Fe y tetravalente de O. Por lo cual, se puede esgrimir teóricamente que los protocolos donde constó menor cantidad de NH_3 , existió menor reactividad molecular, ergo menor entrelazamientos del Fe y del O, es decir, que los alcaloides, proteínas, enzimas, aminoácidos, alcoholes, terpenoides, flavonoides, polifenoles y glúcidos, que son componentes de extracto de neem, no tiene un papel preponderante en el desdoblamiento de las moléculas que permitan las precipitaciones, o quizás, no de una manera significativa como lo realiza el NH_3 .

El color también fue una variación entre los tres protocolos, siendo el protocolo 1 o estándar (P1), el que mostró una tonalidad negruzca intensa y brillante, mientras que el protocolo 2 (P2), tuvo una tonalidad rojiza intensamente oscura, y en el protocolo 3 (P3), se caracterizó por un color rojizo difuminado.

La precipitación de la magnetita en los protocolos 1 y 2, fue de manera violenta y con leves salpicaduras sobre el vaso de precipitación, pudiéndose constatar a través del cambio de color oscuro de las soluciones, sin embargo, en el protocolo 3, las precipitaciones fueron relativamente más lentas, observándose la presencia de gases con el olor característico del amoníaco.

CARACTERIZACIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS

El microscopio electrónico de barrido (SEM), utiliza un haz enfocado de electrones de alta energía, para generar una variedad de señales en la superficie de las muestras sólidas. Las señales derivadas de las interacciones electrónicas de la muestra revelan información sobre la misma, incluida la morfología externa, la composición química, la estructura cristalina y la orientación de los materiales que componen la muestra. En la mayoría de las aplicaciones, los datos se recopilan sobre un área seleccionada de la superficie de la muestra y se genera una imagen bidimensional que grafica las variaciones espaciales en estas propiedades.

Se obtuvieron imágenes a través del SEM a diferentes escalas, en cada uno de los 3 protocolos para las síntesis de nanopartículas de magnetita, presentando las siguientes características:

Protocolo	Escala	Característica
1	500 nm	Se observan agrupaciones esféricas, que teóricamente pertenecen a las nanopartículas de hierro (FeNPs) o magnetita, las cuales, tienen dimensiones que fluctúan entre 20 y 70 nm
	1 μm	A la distancia referencial (magnificación) de 1000 nm (1 μm), la imagen proyectada, tiene apariencia de algodones, distinguiéndose varias secciones en donde se agrupan moléculas, el tamaño de estas se encuentra entre 0.7 y 1.8 μm
	5 μm	En esta escala, las formas preponderantes son irregulares, prevaleciendo las estructuras laminares y prismáticas. Los tamaños se encuentran en 1000 y 7000 nm
	50 μm	A 50000 nm (50 μm), la forma predominante es la laminar, formando agrupaciones de apariencia cuboide
2	500 nm	Igual que en el protocolo 1, la forma que presentan las nanopartículas es esférica, estando bien definidas y agrupadas, el tamaño aproximado se encuentra entre 30 y 65 nm. La refracción de color es estándar en casi la totalidad de la imagen
	1 μm	Las agrupaciones moleculares forman estructuras en formas de racimos, cuyos tamaños fluctúan entre 200 y 1300 nm
	5 μm	La apariencia de las moléculas de magnetita a 5000 nm, es prismática e irregular, con tamaños aproximados de 900 a 5500 nm
	50 μm	Las imágenes obtenidas se asemejan a cubos y prismas resquebrajados entre sí, no existiendo un enlace que los mantenga en un centro común
3	500 nm	A diferencias de los 2 protocolos anteriores, no se observan abundantes agrupaciones esféricas de pequeños tamaños, únicamente estructuras ovoides y globulares con tamaños superiores a los 350 nm
	1 μm	Se confirma lo mencionado anteriormente, constatando que las moléculas de menor tamaño se agrupan sobre las de mayor tamaño
	5 μm	Otro notable contraste (con relación a P1 y P2), es que, a esta escala, las partículas se asemejan a pequeños hongos, pudiendo estar agrupados o aislados
	50 μm	Se observan láminas rectangulares homogéneas, sobre las mismas se aprecian estructuras globulares y esféricas con tamaños entre los 2000 y 22000 nm

Cuadro VII. Características apreciadas de las nanopartículas en las diferentes escalas referenciales

De manera general se puede determinar que el protocolo 1, permite sintetizar nanopartículas entre los 20 y 70 nm; con el protocolo 2 se alcanzan tamaños entre los 30 y 65 nm, finalmente en el protocolo 3, no fue posible establecer el tamaño de estas moléculas, ya que la proporción de magnetita en estas muestras es inferior a otros compuestos obtenidos, como la hematita y el cloruro de amonio; por ello, no se logró visualizar las nanopartículas de hierro (FeNPs) en este protocolo.

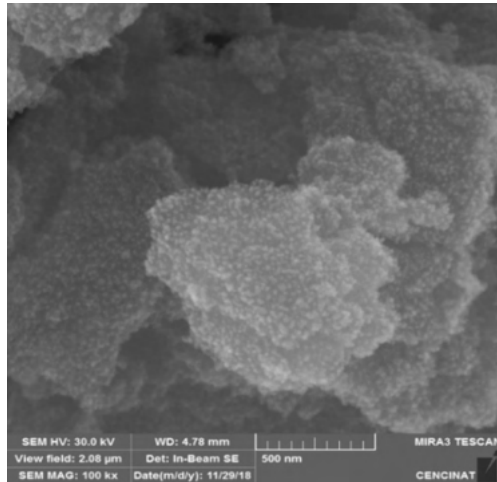


Figura 3. Microscopia electrónica de barrido (SEM) en protocolo 1 a una escala referencial de 500 nm

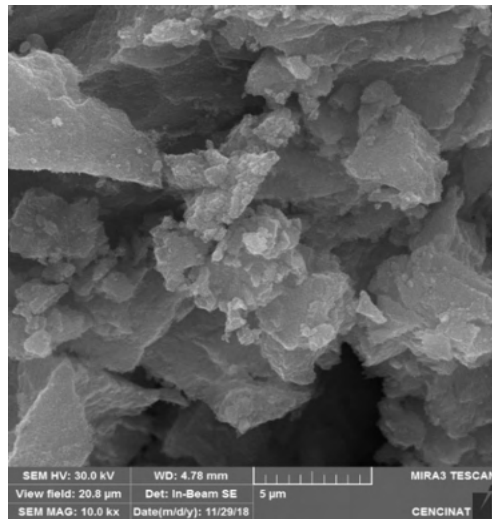


Figura 4. Microscopia electrónica de barrido (SEM) en protocolo 2 a una escala referencial de 5 μm

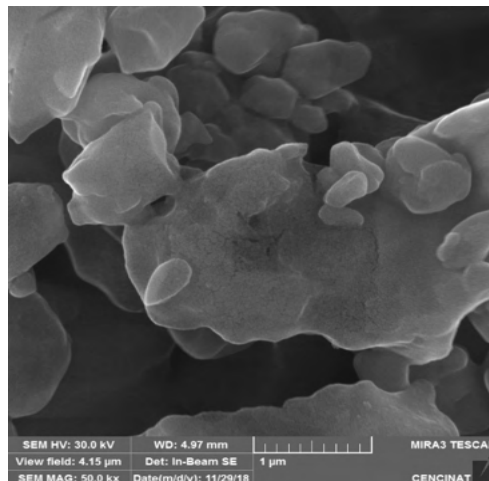


Figura 5. Microscopía electrónica de barrido (SEM) en protocolo 3 a una escala referencial de 1 µm

Zhu y Wu (1999), lograron sintetizar nanopartículas de magnetita por precipitación con mezcla forzada. Las mediciones realizadas, mostraron tamaños promedios inferiores a 6 nm en la condición de $[Fe^{2+}]/[Fe^{3+}] = 0.5$, donde se usó el NaOH, como agente precipitante del Fe. Previamente Kang *et al.* (1996), logró la síntesis de estas nanopartículas, con un tamaño promedio de 8 nm.

La utilización de compuestos organometálicos, en la actualidad es una opción promisoría para la síntesis, la misma que consiste en reducir sales metálicas en un solvente con un alto punto de ebullición, con la presencia de estabilizadores que controlen las reacciones y con ello el tamaño de las nanopartículas. Los tamaños reportados con estos métodos se encuentran entre los 5 y 25 nm (Buendía 2009).

Lee *et al.* (2012), reportó tamaños que fluctúan entre los 20 y 50 nm, para ello se utiliza un baño de ultrasonido convencional, esta técnica consiste en la deformación elástica de los elementos con propiedades magnéticas, dentro de un campo de alta frecuencia.

Por su parte Xingu (2013), reportó tamaños de partículas de hierro entre 80 y 150 nm en zeolitas naturales. Mientras que Akbari y Mohamadzadeh (2012), Bezbaruah *et al.* (2009) y Zhang (2003), realizaron la síntesis con tamaños de partículas de 18, 35 y 60 nm, respectivamente.

Starbird y Montero (2015), lograron la síntesis con tamaños superiores a los 150 nm y Alvear *et al.* (2017), alcanzó diámetros promedios de 7 nm. Galindo *et al.* (2016), reportó de 22 a 30 nm para los cristales de la magnetita, Al-Saad *et al.* (2012), alcanza dimensiones de la magnetita 25-55 nm y finalmente Vanegas *et al.* (2014), consigue partículas de 10 nm.

Avilés y Mendieta (2017), utilizando extractos orgánicos de capulí y zapote, obtuvieron nanopartículas de hierro que se encuentran entre los 11 y 100 nm.

Neira (2015), con la ayuda de los extractos orgánicos de eucalipto, precipita el hierro

con diámetros menores a los 200 nm.

Los datos anteriormente expuestos demuestran la variabilidad en los tamaños de las nanopartículas de hierro (FeNPs), el cual, está determinado por varias condiciones experimentales, por ejemplo, el método de síntesis, los reactivos químicos empleados, el pH, la temperatura, los agentes surfactantes, el tiempo de reactividad, entre otros; los cuales determinan el diámetro final que tendrán dichas nanopartículas. Sin embargo, los resultados comparativos para la presente investigación serán principalmente los derivados de los protocolos de síntesis verdes, sin relegar, que también se realizó una síntesis, en la cual no tenía dosis de los extractos orgánicos, por lo cual es un protocolo netamente químico (protocolo 1).

La media de los rangos de tamaños fue de 45 nm en el protocolo 1 y de 47.5 nm en el protocolo 2, si tomamos como referencias la media de los rangos de Avilés y Mendieta (2017) con 55.5 nm; los diámetros alcanzados son relativamente menores. También estos valores (de P1 y P2), son considerablemente inferiores al diámetro de 200 nm, expuesto por Neira (2015).

Se puede inferir, que la variabilidad de los tamaños entre los dos protocolos (P1 y P2), está dada por la cantidad de NH_3 que fue aplicada para provocar la precipitación del Fe, pudiendo concluir que el protocolo 1, tiene mayor eficiencia para producir nanopartículas de menor tamaño, ya que pesquisas previas establecen un tamaño en la magnetita de 30 nm, como el óptimo para aprovechar las propiedades superparamagnéticas que las hacen propensas a los campos magnéticos (Luciano *et al.* 2013); por lo cual, los protocolos que permitan llegar a estos tamaños son más prominentes.

El tamaño de la media de los rangos en el protocolo 1 de 45 nm (señalado como el mejor para producir magnetita de menor tamaño), dista ampliamente de otros protocolos que lograron diámetros entre 5 y 7 nm (Buendía 2009, Alvear *et al.* 2017), presumiblemente porque se mantuvieron controladas variables como la temperatura, tiempo de reacción, pH, etc., que influyen en la calidad y tamaño de las moléculas; además que en estas síntesis se usaron reactivos químicos altamente tóxicos, y no basados en una síntesis verde, como la propuesta en este proyecto.

El protocolo 2 presenta una reducción del 30 % de la cantidad de NH_3 (en comparación del protocolo 1), y la diferencia de tamaño es de aproximadamente el 5 % entre las nanopartículas de los 2 protocolos. Concluyendo que las diferencias de P1 y P2, no son significativas, si se toma como referencia la reducción del 30 % de NH_3 , el cual precipita al Fe, para que posteriormente se forme la magnetita.

Las formas de las nanopartículas que han sido reportadas (Buendía 2009, Alvear *et al.* 2017, Neira 2015, Avilés y Mendieta 2017, Galindo *et al.* 2016, Xingu 2013, Starbird y Montero 2015, Akbari y Mohamadzadeh 2012, Bezbaruah *et al.* 2009, Zhang 2003, Martínez y Reyes 2013), coinciden con las imágenes obtenidas en el SEM, siendo estas esféricas u ovoides, las cuáles se encuentran altamente aglomeradas, presumiblemente por el campo

electromagnético interno de las partículas.

Los difractogramas con una fuente de radiación de cobre, corroboran que la sustancia precipitada es magnetita, ya que las señales o picos para 2θ fueron: 30.2° , 32° , 35.6° , 43.3° , 53.5° , 57.1° y 62.8° (figura 5), que corresponden a los planos de reflexión 220, 311, 400, 422, 511, 440, respectivamente; los mismos que coinciden con los valores reportados para las nanopartículas de hierro (FeNPs).

Adicionalmente se demuestra que se trata de una estructura cristalina de espinela (grupo Fd3m), correspondiente a los compuestos de la forma $A^{2+} B_2^{3+} O_4^{2-}$, con arreglo cúbico centrado en las caras (fcc) y empaquetado (Starbird y Montero 2015, Alvear *et al.* 2017, Galindo *et al.* 2016, Vanegas *et al.* 2014, Kim *et al.* 2001). Cabe indicar que la longitud de onda empleada en este análisis fue Cu K-alpha - 0,15418 nm (Bragg-Brentano).

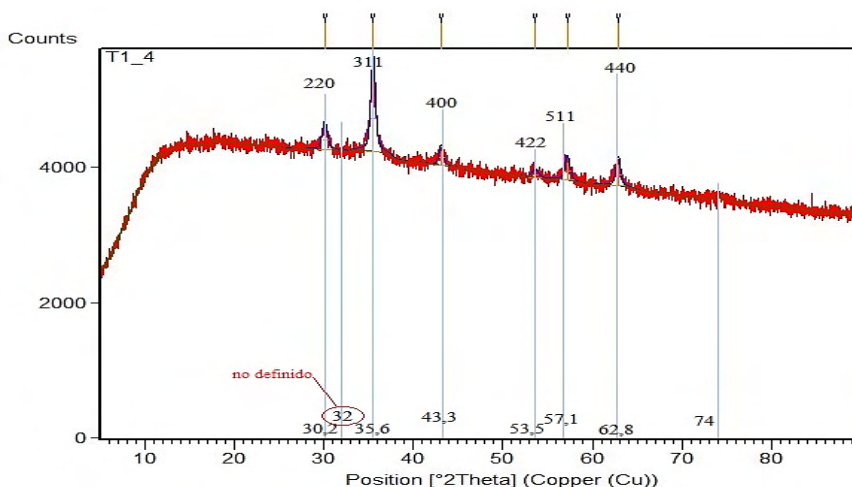


Figura 6. Difractograma con sus respectivos picos y planos de reflexión de la magnetita

Por medio del siguiente análisis de Scherrer, se establecen el tamaño promedio de las nanopartículas sintetizadas (Patterson 1939, Cullity 1978):

$$D = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos(\theta)}$$

Donde D , es el tamaño promedio del cristal, β es el ancho de la línea de difracción medida a la mitad de la intensidad máxima (radianes) y se calcula para el pico más alto gracias al ajuste lorentziano ($P1 = 0.491$ y $P2 = 0.383$), λ representa la longitud de onda del rayo incidente (1.54060 \AA), y θ es el ángulo entre el haz incidente y el plano de cristal ($P1 = 17.74$ y $P2 = 17.68$), correspondiendo al plano (311).

Aplicando la ecuación de Scherrer se obtiene lo siguiente:

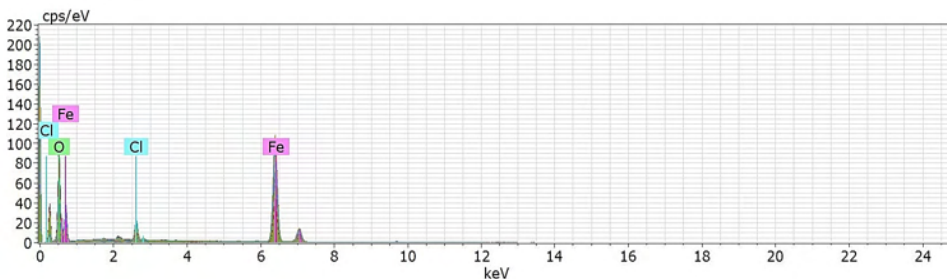
$$D_{P1} = \frac{0,9 (1,4060)}{0,491 \cos(90-17,74)} = 9,27 \text{ nm}$$

$$D_{P2} = \frac{0,9 (1,54060)}{0,383 \cos(90-17,68)} = 11,92 \text{ nm}$$

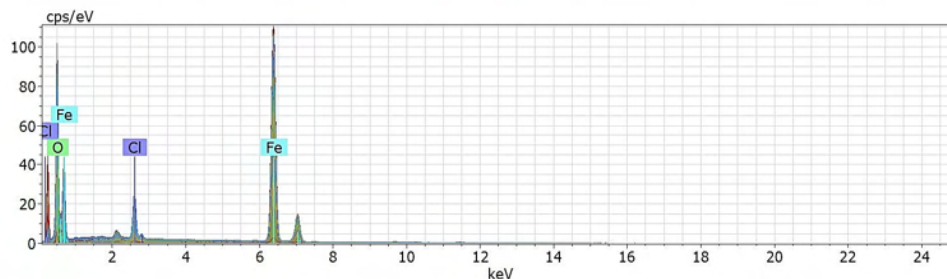
Se establece que el tamaño de cristal está entre un rango de los 9.27 nm para el protocolo 1 y 11.92 nm para el protocolo 2. Existiendo un 22 % de incremento en el tamaño de las nanopartículas de P2, en comparación de P1.

Esta cuantificación determina diferentes tamaños de las moléculas, si son comparados a los obtenidos en los análisis SEM, dado que en la escala nanométrica (no cristalinos), la relación superficie/volumen aumenta, es decir, que la mayoría de la masa de las nanopartículas se encuentran en la superficie, originándose una fase no cristalina, en otras palabras, la fase de cristalización aumenta mientras se reduce el tamaño de las nanopartículas (Coral y Mera 2017).

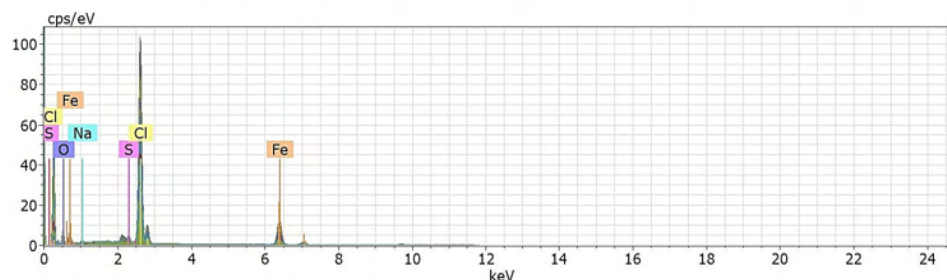
La técnica de EDS, permitió identificar los elementos que se encontraban presentes en 20 diferentes muestras, en los 3 protocolos de síntesis (P1, P2, P3). En el espectro del protocolo 1 (figura 6), evidencia la presencia de los elementos de Fe, O y Cl, con una razón atómica Fe:O:Cl, igual a 67:31:2. En otros espectrogramas reportados, también se observan una fuerte señal alrededor de 6,4 keV correspondiente al Fe (Vanegas *et al.* 2014, Rodríguez 2012, Buendía 2009). La presencia del cloruro en los análisis EDS, provienen de las moléculas bases de Fe ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), utilizadas para la síntesis de las nanopartículas de magnetita, ya que en su estructura molecular las mismas poseen átomos de Cl, también se puede atribuir la presencia de este elemento al deficiente lavado de las nanopartículas, después de la precipitación.



Protocolo 1



Protocolo 2



Protocolo 3

Figura 7. Espectro de los principales elementos encontrados en los 3 protocolos de síntesis, en 20 muestras por cada protocolo

En el espectro del protocolo 2, se repite la presencia del Fe, O y Cl, y con una razón atómica Fe:O:Cl, igual a 67:29:4. Manteniéndose el porcentaje de Fe, pero disminuyendo en 2 % la presencia de O, y aumentando en 2 % el Cl. En el espectro del protocolo 3, a los elementos de Fe, O, Cl, se añaden los elementos Na y S, con una razón atómica Fe:O:Cl:Na:S, igual a 21:24:49:3:3.

EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LAS NANOPARTÍCULAS

Se obtuvieron las siguientes escalas de colores:

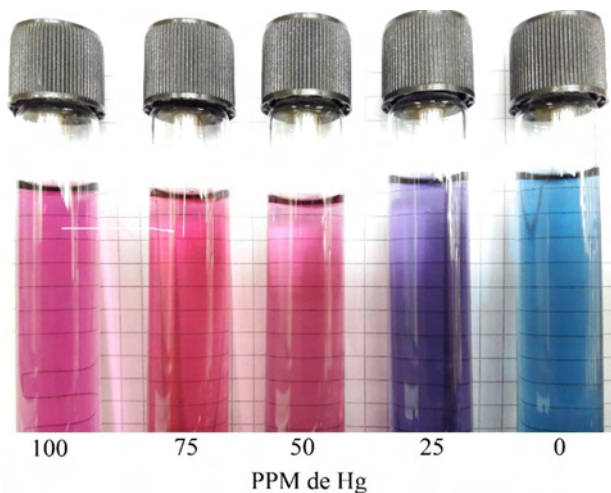
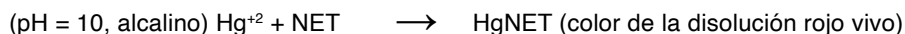


Figura 8. Escalas complexométricas para determinar los rangos de colores en las diferentes PPM de Hg en el agua destilada

La unión del indicador metalocrómico NET, con un ión metálico (indicador-metal), produce un cambio de coloración en una disolución determinada, denominándose a este efecto como titulación o valoración complexométrica. Esta tonalidad varía según la concentración del metal, tonándose de color rojo vivo, cuando este se encuentra enlazado con el indicador, y de color azul cielo cuando se halla disgregado (viraje de color: rojo vivo – azul cielo).

El NET tiene 3 protones ionizables, el cual se puede representar como: H_3In . Este indicador es ácido débil, es decir que sus escalas de colores dependerán del pH, si este es inferior a 6 (H_2In^-), presenta una tonalidad roja; si el pH está en el rango de 6 a 12 será de color azul (HI_n^{2-}), y si es superior a 12, presentará un color anaranjado amarillento (In^{3-}), estas consideraciones ayudan a determinar indicadores en intervalos definidos por el pH (Christian 2009).

Las reacciones que ocurren durante la valoración complexométrica, en presencia del Hg, es la siguiente:



El color del indicador cambia cuando se une con el ión metálico (en ese caso el Hg^{+2}), este efecto se deriva por el cambio estructural en el grupo cromogénico. El indicador se une con una fuerza que permite el desplazamiento del metal, y con ello el cambio de color de la solución, estas reacciones dependen del pH alcalino, donde se realizan las reacciones titulantes (Alfaro y Guadron 2010).

Con estas premisas se puede esclarecer de mejor manera los resultados complexométricos obtenidos.

Inicialmente se realizó una escala de colores complexométricas, con 5

concentraciones de Hg (100, 75, 50, 25 y 0 PPM), las cuales se las comparó con las 3 concentraciones de Fe (300, 200 y 100 PPM), para cada uno de los 3 protocolos de síntesis (P1, P2, P3). Cabe recordar que en cada una de las muestras de los 3 protocolos, existen 100 PPM de Hg (estándar para todos los protocolos).

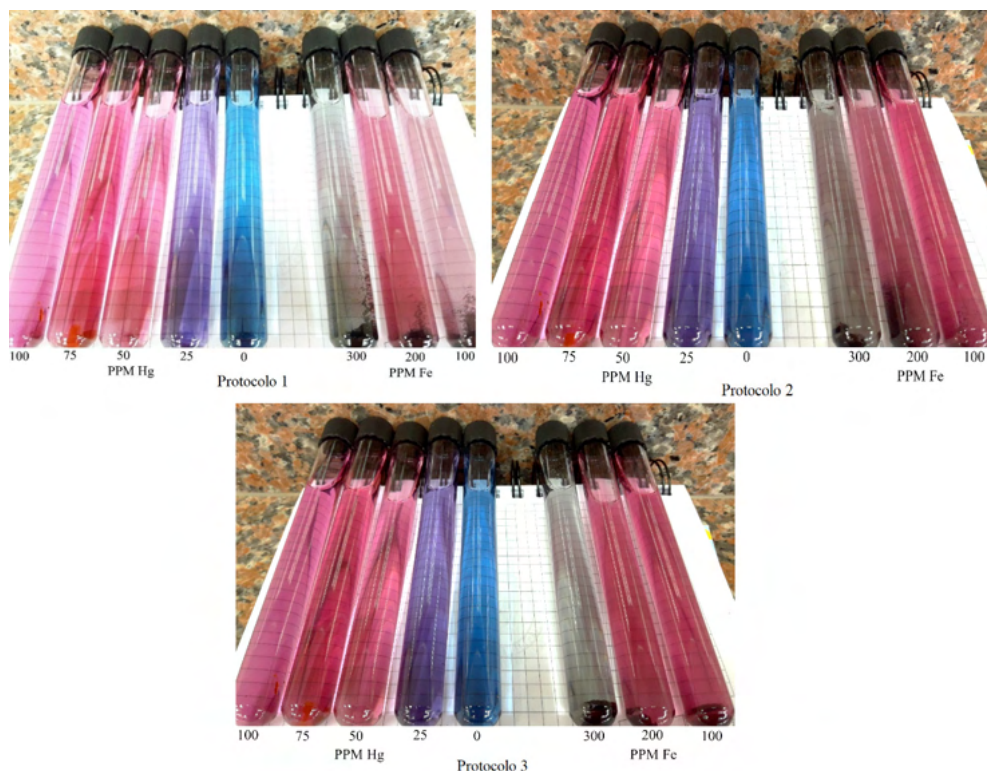


Figura 9. Escalas complexométricas de Hg vs escala de los niveles de Fe sintetizadas con los protocolos 1, 2 y 3

Al compararse la escala de la figura 7 con las tonalidades de los protocolos (P1, P2, P3) de síntesis de nanopartículas; se observa que la tonalidad a 300 PPM de Fe es grisácea con leve tendencia de semejanza para el color violeta que para al azul, esta característica es predominante en los 3 protocolos (figura 9), sin existir mayor diferencia en las tonalidades entre cada uno de ellos. Sin embargo, esta tonalidad podría interpretarse como la funcionalidad activada y parcial de las nanopartículas de Fe (magnetita), para reducir el número de moléculas de Hg en el agua, ya que la visualización demostraría que este elemento no está reaccionando completamente con el indicador NET.

Considerando que, en los tubos de ensayo constaba 100 PPM de Hg, se deduce que existe una reducción aproximada de 75 PPM del metal, con la aplicación de 300 PPM de Fe (se asume que el color tiene una tendencia hacia el color violeta, por ello se

toma como referencia la concentración de 25 PPM). En las concentraciones de 100 y 200 PPM de Fe, donde preponderan las tonalidades rojas y rosadas intensas, ninguno de los tratamientos muestra un importante cambio de color. Por lo tanto, se considera que existe una alta presencia del Hg, en estas disoluciones; es decir, las nanopartículas de Fe a estas concentraciones, no tiene una funcionalidad para reducir al Hg (figura 9).



Figura 10. Escalas complexométricas de 300, 200 y 100 PPM de Fe

En base a lo anteriormente expuesto, se deduce, que las altas concentraciones de Fe (300 PPM), representan una opción aplicable para reducir la presencia del metal Hg en un sistema acuoso, independientemente del protocolo de síntesis utilizado para obtener estas nanopartículas.

Para obtener una concentración de 300 PPM de Fe, es necesario 10.36 mg de magnetita (Fe_3O_4), por lo tanto, se puede aplicar la siguiente fórmula para determinar la cantidad de magnetita por metro cúbico de agua (o una “regla de 3” sucesiva):

$$\text{Cantidad magnetita (en g)} = \frac{\text{PPM requeridas del elemento}}{\% \text{ del elemento en el peso molecular}} * \frac{\text{volumen recipiente (l)}}{10}$$

Determinándose que, en un metro cúbico de agua, se necesitan 414.54 g de

magnetita, para adsorber 161.79 g de nitrato de mercurio II (se aplica la misma fórmula para estimar la cantidad de nitrato de mercurio II); es decir, el 75 % del mercurio se encontraría asociado con el Fe, lo que implicaría que los efectos contaminantes del metal se encuentran reducidos significativamente.

Las nanopartículas utilizadas para determinar la valoración complexométrica, fueron secadas (estado semicristalino), y no en estado acuoso como originalmente fueron sintetizadas, por ello, no se diluyeron completamente cuando fueron añadidas en los tubos de ensayo para evaluar el comportamiento de estas, pudiéndose constatar de manera visual la magnetita no diluida en la base de los tubos.

CONCLUSIONES

Se sintetizaron las nanopartículas de hierro (FeNPs) con 3 diferentes protocolos (P1, P2, P3), donde se evaluaron 3 dosis de amoníaco (5.79 mL – 4 mL – 2 mL) y 2 de extracto de neem (20 mL – 40 mL), y se determinó la cantidad de magnetita seca que cada protocolo formó, estableciéndose 908.2, 766.2 y 422.8 mg para los protocolos 1, 2 y 3 respectivamente.

El protocolo 1 alcanzó rangos de tamaño entre 20 y 70 nm, y el protocolo 2 rangos entre los 30 y 65 nm.

Los difractogramas corroboran que la sustancia precipitada es magnetita y que se trata de una estructura cristalina de espinela.

En el protocolo 1 existe una razón atómica (Fe:O:Cl) igual a 67:31:2, en el protocolo 2 la misma razón atómica (Fe:O:Cl) corresponde a 67:29:4, y en el protocolo 3 la razón (Fe:O:Cl:Na:S) es de 21:24:49:3:3.

Se evaluaron diferentes concentraciones de las nanopartículas de hierro (FeNPs), en solución de agua con una dosis estándar de mercurio, donde se observó a través de las escalas complexométricas, que 300 PPM de Fe reducen 75 PPM de Hg (independientemente del protocolo de síntesis utilizado).

Las nanopartículas de hierro (FeNPs) o magnetita (Fe_3O_4), que son sintetizadas a través del extracto de *Azadirachta indica* (neem) y con una concentración de 300 PPM de Fe, pueden adsorber 75 PPM de Hg.

En un metro cúbico de agua, 414.54 g de magnetita pueden capturar 161.79 g de nitrato de mercurio II. Es decir, el 75 % del mercurio diluido, puede neutralizarse (adsorberse) con esta cantidad de nanopartículas de hierro (FeNPs)

Teóricamente se puede establecer que las nanopartículas de hierro (FeNPs), reducen la presencia del mercurio en el agua.

REFERENCIAS

- Ai, L.; Jiang, J. (2012). Removal of methylene blue from aqueous solution with self-assembled cylindrical graphene–carbon nanotube hybrid. *Chemical Engineering Journal*, 192 (2), 156 – 163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.03.056>.
- Akbari, A.; Mohamadzadeh, F. (2012). New method of synthesis of stable zero valent iron nanoparticles (Nzvi) by chelating agent diethylene triamine penta acetic acid (DTPA) and removal of radioactive uranium from ground water by using iron nanoparticle. *Journal of Nanostructures*, 2 (2), 175 – 181. DOI: 10.7508/JNS.2012.02.004.
- Alfaro, V.; Guadron, J. (2010). Recopilación de mecanismos de reacción de los indicadores químicos y su aplicación en los diferentes métodos clásicos de análisis. Tesis de Grado. Universidad de El Salvador – Facultad de Química y Farmacia. San Salvador, El Salvador, 310 pp.
- Alvear, D.; Galeas, S.; Guerrero, V.; Debut, A. (2017). Síntesis y Caracterización de Nanopartículas de Magnetita. *Revista Politécnica*, 39 (2), 1 – 6.
- Avilés, C.; Mendieta, C. (2017). Síntesis de nanopartículas de hierro cerovalente a partir de extractos frutales con propiedades reductoras. “Prunusserotina subsp”. Capulí y “Diospyrosdigyna”. Tesis de Grado. Universidad de Guayaquil – Facultad de Ingeniería Química. Guayaquil, Ecuador, 73 pp.
- Ayati, A.; Ahmadpour, A.; Bamoharram, F.; Tanhaei, B.; Manttari, M.; Sillanpaa, M. (2014). A review on catalytic applications of Au/TiO₂ nanoparticles in the removal of water pollutant. *Chemosphere*, 107, 163 – 174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.01.040>.
- Bezbaruah, A.; Thompson, J.; Chisholm, B. (2009). Remediation of alachlor and atrazine contaminated water with zero-valent iron nanoparticles. *Journal of Environmental Science and Health*, 44 (6), 518 – 524. DOI: 10.1080/03601230902997501.
- Buendía, S. (2009). Síntesis de nanopartículas de hierro con propiedades magnéticas obtenidas vía precursores organometálico. Tesis de Grado. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. México D.F., México, 154 pp.
- Casal, P. (2015). Síntesis de Nanopartículas con Propiedades Adsorbentes Mediante Métodos de Química Sostenible. Tesis de Grado. Universidade da Coruña - Facultade de Ciencias Departamento de Química Física e Enxeñería Química I. La Coruña, España, 60 pp.
- Centro de Nanociencia y Nanotecnología (2017). Laboratorio de Caracterización de Nanomateriales. INNOVATIVA [en línea]. <http://www.espe-innovativa.edu.ec/cencinat/laboratorio-de-caracterizacion-de-nanomateriales/> 06/01/2019.
- Chávez, G. (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, Ventajas y Desventajas. *Journal Selva Andina Research Society*, 9 (1), 52 – 61.
- Chaturvedi, S.; Dave, P.; Shah, N. (2012). Applications of nano-catalyst in new era. *Journal of Saudi Chemical Society*, 16 (3), 307 – 325. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.01.015>.

Chen, Y.; Hu, W.; Huang, B.; Weindorf, D.; Rajan, N.; Liu, X.; Niedermann, S. (2013). Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98 (1), 324 – 330. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.037>.

Coral, D.; Mera, J. (2017). Una guía para el estudio de nanopartículas magnéticas de óxidos de hierro con aplicaciones biomédicas. Parte II. *Ingeniería y Ciencia*, 13 (26), 207 – 232. DOI:10.17230/ingciencia.13.26.8.

Christian, G. (2009). Química Analítica. Sexta edición. McGraw Hill, Washington, Estados Unidos, 858 pp.

Cullity, B. (1978). Elements of X-Ray Diffraction. Segunda edición. Addison-Wesley Publishing, Massachusetts - Menlo Park, California, London, Amsterdam, Don Mills, Ontario, Sydney, 569 pp.

Das, S.; Sen, B.; Debnath, N. (2015). Recent trends in nanomaterials applications in environmental monitoring and remediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (23), 18333 – 18344. DOI:10.1007/s11356-015-5491-6.

Español, C. (2012). Contaminación con mercurio por la actividad minera. *Biomédicina*, 32 (3). DOI: <https://doi.org/10.7705/issn.0120-4157>.

Galindo, J.; Quintana, J.; Flores, L.; Moreno, M.; Galván, D.; Cornejo, J. (2016). Síntesis y caracterización de la magnetita Fe_3O_4 . Congreso Internacional de Investigación Tijuana. *Revista Aristas: Investigación Básica y Aplicada*, 5 (9), 102 – 105.

Hebbalalu, D.; Lalley, J.; Nadagouda, M.; Varma, R. (2013). Greener Techniques for the Synthesis of Silver Nanoparticles Using Plant Extracts, Enzymes, Bacteria, Biodegradable Polymers, and Microwaves. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 1 (7), 703 – 712. DOI: 10.1021/sc4000362.

Kang, Y.; Risbud, S.; Rabolt, J.; Stroeve, P. (1996). Synthesis and Characterization of Nanometer-Size Fe_3O_4 and $\gamma-Fe_2O_3$ Particles. *Chemistry of Material*, 8, 2209 – 2211.

Karn, B.; Kuiken, T.; Otto, M. (2011). Nanotechnology and *in situ* remediation: a review of the benefits and potential risks. *Cien. Saude Colet.* 16 (1), 165 – 178. DOI: 10.1289/ehp.0900793.

Kim, D.; Zhang, Y.; Voit, W.; Muhammed, M. (2001). Synthesis and characterization of surfactant-coated superparamagnetic monodispersed iron oxide nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 225 (1–2), 30 – 36. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-8853\(00\)01224-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-8853(00)01224-5).

Lee, J.; Choi, S.; Jang, S.; Lee, S. (2012). Production of aqueous spherical gold nanoparticles using conventional ultrasonic bath. *Nanoscale Research Letter*, 7, 420. DOI: <https://doi.org/10.1186/1556-276X-7-420>.

Li, N.; Kang, Y.; Pan, W.; Zeng, L.; Zhang, Q.; Luo, J. (2015). Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk assessment of human exposure to bioaccessible heavy metals in soil near a waste-incinerator site, South China. *Science of the Total Environment*, 521 – 522, 144 – 151. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.081>.

Luciano, C.; García, F.; González, M.; Mártire, D. (2013). Applications of Magnetite Nanoparticles for Heavy Metal Removal from Wastewater. *Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA)*, CCT- La Plata CONICET, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/54608>.

Martínez, S.; Reyes, A. (2013). Síntesis de nanopartículas magnéticas modificadas con TiO₂ para la fotodegradación de fenol en soluciones acuosas. Tesis de Grado. Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia, 83 pp.

Mittal, A.; Chisti, Y.; Banerjee, U. (2013). Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnology Advances*, 31 (2), 346 – 356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.01.003>.

Moritz, M.; Geszke, M. (2013). The newest achievements in synthesis, immobilization and practical applications of antibacterial nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 228, 596 – 613. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.05.046>.

Neira, I. (2015). Síntesis verde de nanopartículas para a eliminación de colorantes en medios acuosos. Trabajo de grado. Universidade da Coruña, Faculdade de Ciências, Departamento de Química Física e Engenharia Química I. La Coruña, España, 80 pp.

Patterson, A. (1939). The Scherrer Formula for X-Ray Particle Size Determination. *Physical Review*, 56, 978 – 982. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.56.978>.

Pendergast, M.; Hoek, E. (2011). A review of water treatment membrane nanotechnologies. *Energy Environ. Sci*, 4 (6), 1946 – 1971. DOI: [10.1039/C0EE00541J](https://doi.org/10.1039/C0EE00541J).

Raimann, X.; Rodríguez, L.; Chávez, P.; Torrejón, C. (2014). Mercurio en pescados y su importancia en la salud. *Revista Médica de Chile*, 142 (9), 1174 – 1180. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872014000900012>.

Reyes, Y.; Vergara, I.; Torres, O.; Díaz, M.; González, E. (2016). Contaminación por Metales Pesados: Implicaciones En Salud, Ambiente y Seguridad Alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16 (2), 66 – 77.

Rodríguez, A. (2012). Estudio de la síntesis y caracterización de nanopartículas de magnetita por métodos electroquímicos. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica. Querétaro, México, 166 pp.

Roy, N.; Gaur, A.; Jain, A.; Bhattacharya, S.; Rani, V. (2013). Green synthesis of silver nanoparticles: An approach to overcome toxicity. *Environ Toxicol Pharmacol*, 36 (3), 807 – 812. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2013.07.005>.

Sharma, V.; Yngard, R.; Lin, Y. (2009). Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities. *Advances in Colloid and Interface Science*, 145, 83 – 96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.09.002>.

Starbird, R.; Montero, V. (2015). Síntesis de nanopartículas magnéticas de óxido de hierro para la remoción de arsénico del agua de consumo humano. *Revista Tecnología en Marcha*, 28 (3), 45 – 54. DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v28i3.2410>.

Tejada, C.; Villabona, A.; Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18 (34), 109 – 123.

Tesh, S.; Scott, T. (2014). Nano-composites for water remediation: areview. *Advanced. Materials*, 26 (35), 6056–6068. DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.201401376>.

Vanegas, M.; Vásquez, V.; Moscoso, D.; Cruzat, C. (2014). Síntesis y caracterización de nanopartículas magnéticas del tipo $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$, efecto del pH en la dispersión y estabilización en soluciones acuosas. *Maskana*, 5 (1), 43 – 55.

Xingu, E. (2013). Obtención de partículas de hierro de tamaño nanométrico en una zeolita natural. Tesis de Grado. Instituto Tecnológico de Toluca. Metepec, México, 93 pp.

Zhang, W. (2003). Nanoscale iron particles for environmental remediation: An overview. *Journal of Nanoparticle Research*, 5, 323 – 332.

Zhu, Y.; Wu, Q. (1999). Synthesis of Magnetite Nanoparticles by Precipitation with Forced Mixing. *Journal of Nanoparticle Research*, 1 (3), 393 – 396.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agentes químicos 13
Analgésico 4
Ansiedade 6, 7, 9
Antiasmáticos 4
Antifúngica 1, 2
Anti-inflamatório 4, 8, 9
Antimicrobiano 4
Antioxidantes 4, 9
Aromatizantes 6
Azul Ácido 74 22
Azul Brilhante de Rimazol 22
Azul de Bromotimol 22
Azul de Metileno 22
Azure B 21, 22, 25, 29, 30, 32

B

Band gap 75
Bioacumulación 36
Biomarcadores 82, 83, 84, 85, 86, 87, 92, 93, 94
Black Reativo 5 22

C

Camomila 6, 7, 8, 9, 10
Casca de arroz 21, 22, 23, 26, 32, 74, 76, 77
Catalisador 61, 65, 66, 67, 70, 71, 72
Cicatrizante 4
Cloruro 35, 44, 46, 51
Combustão 61, 62, 63, 64, 66, 67, 69, 70, 72
Companhia de Tecnologia e Saneamento Básico - CETESB 61
Compostos fenólicos 4, 9
Compostos Orgânicos Voláteis - COVs 62, 85
Compostos xenobióticos 22

Contaminantes 35, 56, 106
Corantes têxteis 21
Coronavírus 12, 13, 14, 19, 20
Covid-19 12, 14, 19

D

Difratogramas de Raios-X - DRX 63

E

Ecosistema aquático 22
Efeitos biológicos 1, 6
Efluentes 21, 106
Enzima 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32
Estrutura perovskita 62

F

Fármacos 3
Flavonóides 4, 8, 9
Fotoacústica 82, 83, 84, 89, 90, 91, 92, 93, 96

H

Hierro 35, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 56, 57, 58, 59, 60
Higiene 12, 13, 14, 20
Hymenaea courbaril 1, 2, 4, 5

I

Insônia 6, 7

L

Lacase 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 32

M

Materiais particulados 61
Matricaria recutita 6, 7, 8, 9, 10
Meio ambiente 10, 62, 72, 73
Microbiota 13, 87
Micro-ondas 74, 75, 76, 79

N

Nanocompósitos 79

Nanopartículas 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 79

O

Organização Mundial de Saúde - OMS 2, 7, 84, 96

Oxidação 21, 24, 27

P

Patogênicos 82, 83

Plantas medicinais 1, 2, 5, 7, 10

Poluentes 61, 62, 72, 76, 86

Poluição atmosférica 61

Processos oxidativos 22, 106

Produto artesanal 16

Propriedades terapêuticas 1, 6, 8

R

Remédios 4

Resíduos agroindustriais 22

S

Sabão 11, 12, 13, 14, 19

Sabonete 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19

Saúde humana 62, 72

Semicondutores 75, 91

Solvoterma 74, 76

Superparamagnético 74, 79

V

Verde Malaquita 21, 22, 25, 26, 29, 30, 31, 32



Química:

Desvendando propriedades e comportamentos da matéria

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br



Química:

Desvendando propriedades e comportamentos da matéria

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br