

# THE GREAT WORLD OF NANOTECHNOLOGY

Marcos Augusto de Lima Nobre  
(Organizador)

VOL II

 EDITORA  
ARTEMIS  
2021

# THE GREAT WORLD OF NANOTECHNOLOGY

Marcos Augusto de Lima Nobre  
(Organizador)

VOL II

 EDITORA  
ARTEMIS  
2021



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). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comercial. A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

<b>Editora Chefe</b>	Prof. <sup>a</sup> Dr. <sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira
<b>Editora Executiva</b>	M. <sup>a</sup> Viviane Carvalho Mocellin
<b>Direção de Arte</b>	M. <sup>a</sup> Bruna Bejarano
<b>Diagramação</b>	Elisangela Abreu
<b>Organizadoras</b>	Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre
<b>Imagem da Capa</b>	Kateryna Kon
<b>Bibliotecário</b>	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

#### Conselho Editorial

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Cuba*  
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, *Universidade Federal de Uberlândia*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Amanda Ramalho de Freitas Brito, *Universidade Federal da Paraíba*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano, Peru*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Angela Ester Mallmann Centenaro, *Universidade do Estado de Mato Grosso*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla, Espanha*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carmen Pimentel, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Catarina Castro, *Universidade Nova de Lisboa, Portugal*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Neves, *Universidade Aberta de Portugal*  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, *Universidade Federal da Grande Dourados*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Deuzimar Costa Serra, *Universidade Estadual do Maranhão*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal*  
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, *Universidade de São Paulo*  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, *Universidade Federal de Roraima*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elvira Laura Hernández Carballedo, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Emilias Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca, Espanha*  
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República, Uruguay*  
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara, México*  
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona, Espanha*  
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, *Universidade Federal do Triângulo Mineiro*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis, Argentina*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, *Instituto Politécnico da Guarda, Portugal*  
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Iara Lúcia Tescarollo Dias, *Universidade São Francisco*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura, Peru*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof. Dr. Ivan Amaro, *Universidade do Estado do Rio de Janeiro*  
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bio-Bío, Chile*



Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas  
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, USA  
 Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha  
 Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros  
 Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha  
 Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia  
 Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
 Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista  
 Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás  
 Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo  
 Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha  
 Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista  
 Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe  
 Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto  
 Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia  
 Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal  
 Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão  
 Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal  
 Prof.ª Dr.ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"*, Cuba  
 Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras  
 Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense  
 Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras  
 Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia  
 Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará  
 Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí  
 Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí  
 Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia  
 Prof.ª Dr.ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina  
 Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal  
 Prof.ª Dr.ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal  
 Prof. Dr. Turpo Gebera Osbaldo Washington, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru  
 Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa  
 Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande  
 Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
 Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilár, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

G786 The great world of nanotechnology [livro eletrônico] : vol. II /  
 Organizador Marcos Augusto de Lima Nobre. – Curitiba, PR: Artemis, 2021.

Formato: PDF  
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
 Modo de acesso: World Wide Web  
 Inclui bibliografia  
 Edição bilíngue  
 ISBN 978-65-87396-36-1  
 DOI 10.37572/EdArt\_300621361

1. Nanociência. 2. Nanotecnologia. I. Nobre, Marcos Augusto Lima.

CDD 620.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**



## PREFACE

The insertion of new and enhanced materials based on materials belonging to the Nano scale in the day-by-day has growth up in a silent way. In part, a number of works in the nanotechnology stemming of theoretical research using Density Functional Theory (DFT) and sophisticated simulation methods; another part is associated to the protected technologies associated to the military and patented nanomaterial and its process. In this sense, open access to recent aspects on the nanostructures application and properties can be reached in this book. Here, an interesting set of chapters gives opportunity of access texts that reach process and processing of nanostructures, applications of nanotechnology, advanced techniques to theoretical development. A broad set of nanostructures are here covered such as, nanocrystal, superficial nanograins, inner microstructures with nanograins, nanoaggregates, nanoshells, nanotubes, nanoflowers, nanoroad, nanosheets, Also, reveals new investigations areas as grainboundary of nanograins in ceramics and metals. A great number of software has been used as a tool of development of Science and Technologies for nanotechnology COMSOL Multiphysics 5.2. Phenomena and properties has been investigated by recent or classical techniques of materials characterization as Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), Field Emission Gun Scanning Electron Microscopy (FEG-SEM) with Energy Dispersive Spectroscopy (EDS), Raman Scattering Spectroscopy (RSS), X ray diffraction (XRD), <sup>57</sup>Fe Mössbauer spectroscopy, UV-vis spectroscopy, dynamic light scattering (DLS), Atomic Force Microscopy (AFM), and Field Emission Gun Scanning Electron Microscopy (FEG-SEM). In this sense, collections of spectra from Mössbauer spectroscopy, UV-vis spectroscopy and Infrared spectroscopy can be found. As a matter of fact, some chapter's item can be seemed as specific protocols for synthesis, preparations and measurements in the nanotechnology.

I hope you enjoy your reading.

Prof. Dr. Marcos Augusto Lima Nobre

## TABLE OF CONTENTS

### CHAPTER 1..... 1

ROLLING OF 316L STAINLESS STEEL WITH ROUGH ROLLS: A POSSIBLE TECHNIQUE TO OBTAIN SUPERFICIAL NANOGRAINS

Carlos Camurri

Alejo Gallegos

DOI 10.37572/EdArt\_3006213611

### CHAPTER 2..... 11

EFFECTS OF DIFFERENT ASPECT RATIOS AND JUNCTION LENGTHS ON THE COUPLED PLASMON GOLD NANOROD DIMERS

Hafiz Zeeshan Mahmood

Umer Farooq

Usman Rasool

Noor ul Huda

Sana Gulzar

Mahmood Ali

Maryam Iftikhar

Yasir Javed

Sajid Farooq

DOI 10.37572/EdArt\_3006213612

### CHAPTER 3.....21

AB-INITIO STUDY OF ELECTRONIC AND MAGNETIC PROPERTIES OF ZnO NANOCRYSTALS CAPPED WITH ORGANIC MOLECULES

Aline L. Schoenhalz

Paulo Piquini

DOI 10.37572/EdArt\_3006213613

### CHAPTER 4 .....39

CONFINED WATER CHEMISTRY: THE CASE OF NANOCHANNELS GOLD OXIDATION

André Mourão Batista

Herculano da Silva Martinho

DOI 10.37572/EdArt\_3006213614

**CHAPTER 5..... 67**

PLASMONIC RESPONSE OF GOLD- SILICA AND SILVER- SILICA METAL CORE NANOSHHELLS BY OPTIMIZING THE FIGURE OF MERIT

Hafiz Zeeshan Mahmood

Zainab Shahid

Alina Talat

Imama Irfan

Bushra Arif

Sana Habib

Saba Munawar

Yasir Javed

Shaukat Ali Shahid

Sajid Farooq

**DOI 10.37572/EdArt\_3006213615**

**CHAPTER 6 ..... 76**

AMORPHOUS MICRO AND NANO SILICA EXTRACTED FROM RICE HUSKS AND OBTAINED BY ACIDIC PREHYDROLYSIS AND CALCINATION: PREPARATION ROUTE AND CHARACTERIZATION

Eduardo Roque Budenberg

Eilton Aparecido Prado dos Reis

Deuber Lincon da Silva Agostini

Renivaldo José dos Santos

Felipe Silva Bellucci

Aldo Eloizo Job

Daltro Garcia Pinatti

Rosa Ana Conte

**DOI 10.37572/EdArt\_3006213616**

**CHAPTER 7..... 92**

FORMATION OF METAL NANOPARTICLES BY SPUTTER DEPOSITION ON UNCD FILMS BY NPIII INSIDE CONDUCTIVE TUBES

Nazir Monteiro dos Santos

Divani Carvalho Barbosa

Evaldo José Corat

Mario Ueda

**DOI 10.37572/EdArt\_3006213617**

**CHAPTER 8 ..... 109**

X-RAY PHOTOELECTRON SPECTROSCOPY (XPS) STUDY OF CONDUCTIVE TUBE AFTER NITROGEN PIII

Nazir Monteiro dos Santos  
Elver Juan de Dios Mitma Pillaca  
Mario Ueda  
Steven Frederick Durrant  
Pericles Lopes Sant'Ana

**DOI 10.37572/EdArt\_3006213618**

**CHAPTER 9 ..... 125**

APPLICATION OF CLAY-CARBOXIMETHYLCHITOSANE NANOCOMPOSITE-SILVER NANOPARTICLES IN FILTERS TO TREAT CONSUMPTION WATER IN RURAL AREAS OF CAMANA - AREQUIPA-PERU

Maria Elena Talavera Nuñez  
Irene Zea Apaza  
Corina Vera Gonzales  
Julia Zea Alvarez  
Luis Rodrigo Benavente Talavera

**DOI 10.37572/EdArt\_3006213619**

**CHAPTER 10..... 138**

NANOGRAIN BOUNDARY PHENOMENON IN CERAMIC NANOMETRIC MICROSTRUCTURE

Marcos Augusto Lima Nobre  
Silvania Lanfredi

**DOI 10.37572/EdArt\_30062136110**

**CHAPTER 11..... 150**

ON SPIN HAMILTONIAN FITS TO MÖSSBAUER SPECTRA OF NIFE<sub>2</sub>O<sub>4</sub> NANOPARTICLES SYNTHESIZED BY CO-PRECIPIATION

Jose Higinio Dias Filho  
Jorge Luis Lopez  
Adriana Silva de Albuquerque  
Renato Dourado Maia  
Wesley de Oliveira Barbosa  
Ernando Campos Ferreira  
Fellipe Silva Pereira  
Kátia Guimarães Benfica

**DOI 10.37572/EdArt\_30062136111**



**CHAPTER 12..... 162**

EFFECT OF GRAPHITE NANOSTRUTURES ON THE VISCOSITY PROPERTIES OF BLENDS DIESEL-S10 AND BIODIESEL

Túlio Begena Araújo

Marcos Augusto Lima Nobre

**DOI 10.37572/EdArt\_30062136112**

**CHAPTER 13..... 172**

REMOCIÓN DE ARSÉNICO DE EFLUENTES ACUOSOS EMPLEANDO COMO ADSORBENTE MAGNETITA NANOESTRUCTURADA

Orfelinda Avalo Cortez

Luis Jean Carlo Cisneros García

David Pedro Martínez Aguilar

**DOI 10.37572/EdArt\_30062136113**

**CHAPTER 14..... 182**

AVALIAÇÃO DA MICRODUREZA DE NANOCOMPÓSITOS DE MATRIZ DE ALUMÍNIO REFORÇADOS COM ÓXIDO DE GRAFENO REDUZIDO

Daniel Andrada Maria

Andreza de Sousa Andrada Jordânio

Samuel Siqueira

Adelina Pinheiro Santos

Clascídia Aparecida Furtado

**DOI 10.37572/EdArt\_30062136114**

**CHAPTER 15..... 197**

ROTA ECOLOGIA PARA SINTESE DE ELETRODO NANOESTRUTURADO DE ZnO PARA SUPERCAPACITOR

Eguiberto Galego

Marilene Morelli Serna

Tatiane Yumi Tatei

Bruna Rodrigues de Lima

Rubens Nunes de Faria Junior

**DOI 10.37572/EdArt\_30062136115**

<b>CHAPTER 16.....</b>	<b>212</b>
MORFOLOGIA DE FILMES FINOS NANOESTRUTURADOS DE ZnO PRODUZIDOS PELO MÉTODO SILAR	
Eguiberto Galego	
Marilene Morelli Serna	
Lalgudi Venkataraman Ramanathan	
Rubens Nunes de Faria Junior	
<b>DOI 10.37572/EdArt_30062136116</b>	
<b>CHAPTER 17.....</b>	<b>228</b>
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOCRISTAIS DE CELULOSE A PARTIR DE PAPEL RECICLADO VIRGEM E PÓS-CONSUMO	
Jean Brito Santos	
Emanoel Igor da Silva Oliveira	
Nádia Mamede José	
<b>DOI 10.37572/EdArt_30062136117</b>	
<b>ABOUT THE ORGANIZER.....</b>	<b>234</b>
<b>INDEX.....</b>	<b>236</b>

## REMOCIÓN DE ARSÉNICO DE EFLUENTES ACUOSOS EMPLEANDO COMO ADSORBENTE MAGNETITA NANOESTRUCTURADA

Data de submissão: 05/04/2021

Data de aceite: 28/04/2021

### Orfelinda Avalo Cortez

Universidad Nacional de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Metalúrgica  
Lima, Rímac, Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-6619-7227>

### Luis Jean Carlo Cisneros García

Universidad Nacional de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Metalúrgica  
Lima, Rímac, Perú  
<https://orcid.org/0000-0003-2423-0591>

### David Pedro Martínez Aguilar

Universidad Nacional de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Metalúrgica  
Lima, Rímac, Perú  
<https://orcid.org/0000-0001-6942-8273>

**RESUMEN:** La alta toxicidad del arsénico impulsa el interés y desarrollo de alternativas tecnológicamente viables y accesibles para remover el arsénico (As) presente en efluentes acuosos y por tanto constituye una necesidad apremiante para muchas comunidades que se ven afectadas por este problema. De acuerdo a la literatura las partículas magnéticas cumplen este

objetivo y pueden ser obtenidas a través de diversas rutas de síntesis. La coprecipitación es uno de los métodos más comunes para la obtención de magnetita a partir de una mezcla de sales ferrosa y férrica en medio altamente alcalino. En el presente trabajo se realizó la síntesis de magnetita a partir de sales precursoras como Sulfato Ferroso heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) y Nitrato Férrico nonahidratado ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) en la proporción 1:1 y empleando el Hidróxido de Sodio (NaOH) para lograr un medio alcalino de  $\text{pH}=12$ . Se realizó la caracterización de la muestra final por Difracción de Rayos-X (DRX), Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) y Análisis del área superficial (BET). El análisis de los difractogramas de DRX confirmaron que la muestra final era 100% magnetita con un tamaño de cristalito de aproximadamente 20nm. Las imágenes obtenidas por MEB mostraron que la magnetita estaba constituida por cristalitos cúbicos nanoestructurados. Los resultados del análisis BET arrojaron un valor de área superficial de  $82.57 \text{ m}^2/\text{g}$  con un tamaño promedio de partícula de 72nm. Para evaluar la capacidad de remoción del Arsénico total presente en efluentes acuosos, se consiguió un efluente industrial con una concentración de As total inicial de 1.9 mg/L y con  $\text{pH}=8.1$ . Se hicieron pruebas de remoción empleando 0.4g de magnetita por litro de solución. La magnetita sintetizada demostró tener una excelente capacidad de remoción de

arsénico total en aguas ya que, en tiempos de contacto relativamente cortos, 10min, se logró remover el 99.99 % del As total.

**PALABRAS CLAVE:** Magnetita nanoestructurada. Adsorbente. Arsénico. Efluente.

## ARSENIC REMOVAL OF AQUEOUS EFFLUENTS USING AS ADSORBENT NANOSTRUCTURED MAGNETITE

**ABSTRACT:** The high toxicity of arsenic drives the interest and development of technologically viable and accessible alternatives to remove the arsenic (As) present in aqueous effluents and therefore constitutes a necessity for many communities that are affected by this problem. According to the literature, magnetic particles meet this objective and can be obtained through various synthetic routes. Coprecipitation is one of the most common methods for obtaining magnetite from a mixture of ferrous and ferric salts in a highly alkaline medium. In the present work the synthesis of magnetite was carried out from precursor salts such as Ferrous Sulfate heptahydrate ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) and Ferric Nitrate nonahydrate ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) in the proportion 1: 1 and using Sodium Hydroxide ( $\text{NaOH}$ ) to achieve an alkaline medium of  $\text{pH}=12$ . The characterization of the final sample was performed by X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Surface Area Analysis (SAA). Analysis of the XRD diffractograms confirmed that the final sample was 100% magnetite with a crystallite size of approximately 20nm. The images obtained by SEM showed that the magnetite was made up of nanostructured cubic crystallites. The results of the SAA analysis showed a surface area value of 82.57  $\text{m}^2/\text{g}$  with an average particle size of 72nm. To evaluate the removal capacity of total Arsenic present in aqueous effluents, was obtained a industrial effluent with an initial total As concentration of 1.9 mg/L and with  $\text{pH} = 8.09$ . Removal tests were made using 0.4g of magnetite per liter of solution. The synthesized magnetite proved to have an excellent capacity to remove total arsenic in water, because in relatively short contact times, 10 min, 99.99% of the total As was removed.

**KEYWORDS:** Nanoestructured magnetite. Adsorbent. Arsenic. Effluent.

### 1 INTRODUCCIÓN

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) clasifica al arsénico como cancerígeno en el grupo A, debido a la evidencia de sus efectos adversos sobre la salud. Ingerir niveles altos de arsénico puede causar oscurecimiento de la piel, y aumentar el riesgo de cáncer del pulmón, vejiga, hígado, riñón y de próstata (M.L. Castro de Esparza 2006). La presencia de arsénico en aguas de consumo ha ocasionado en todo el planeta la diseminación del hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE), enfermedad crónica que se manifiesta principalmente por alteraciones dermatológicas como melanodermia, leucodermia y/o queratosis palmo-plantar, evolucionando hacia patologías más graves como distintos tipos de cáncer. Las poblaciones más afectadas son las de menores niveles de ingreso y, en América Latina, se estima que la población en riesgo supera los 14 millones de personas, si se toma como límite de concentración

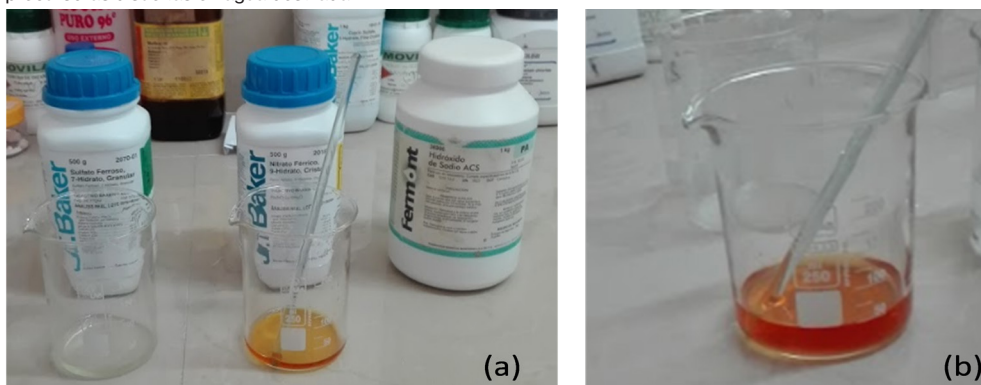
de arsénico en agua potable el recomendado por la Organización Mundial de la Salud (10µg/L) (World Health Organization, 2003).

Existen diversas tecnologías convencionales de tratamiento de agua contaminadas con arsénico (coagulación, precipitación, empleo de membranas como la osmosis inversa, adsorción, intercambio iónico) y las llamadas tecnologías emergentes (fitorremediación, electrocoagulación, empleo de nanomateriales). Las micro y macro partículas de óxidos de hierro son uno de los medios adsorbentes más eficaces (99.95% de  $As^{+5}$  y 98% de  $As^{+3}$ ) y económicamente accesibles para la remoción del arsénico (Jochen Bundschuh et al, 2008) (J. Bundschuh, M.A. Armienta et al, 2009) (Marta I. Litter et al, 2010). En el presente trabajo se empleó la ruta química de coprecipitación, para sintetizar magnetita a partir de sales precursoras como Sulfato Ferroso ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) y Nitrato Férrico ( $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ) en la proporción 1:1 y empleando el Hidróxido de Sodio (NaOH) para lograr un medio alcalino de pH=12.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Los reactivos principales utilizados para la síntesis de la magnetita fueron Sulfato Ferroso ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ), Nitrato Férrico ( $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ) e Hidróxido de Sodio (NaOH). Se trabajó con una relación molar 1 a 1 (0.005 moles para cada una de las sales) y con una concentración de 0.5M de NaOH. Se juntaron ambas sales,  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  y  $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  y luego se enrasó hasta 50 mL con agua destilada, tal como se muestra en la **Figura 1**.

Figura 1. (a) Reactivos empleados:  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  y NaOH (b) Solución conteniendo las sales precursoras disueltas en agua destilada.



La adición de NaOH se realizó lentamente y se fue anotando la variación del pH en función del volumen de NaOH en mL empleando un pHmetro digital (Marca OAKTON – Modelo pH 700) previamente calibrado, tal como se puede observar en la **Figura 2**. La

adición de NaOH se detuvo cuando se alcanzó pH=12, valor indicado en la literatura (Y. S. Lim, C. W. Lai, S. B. A. Hamid et al, 2014). Se decantó, se separó la solución sobrenadante y se lavó el precipitado de color negro con agua destilada 5 veces y la última lavada con alcohol. Finalmente se procedió a secar la muestra a una temperatura máxima de 50°C, La muestra finalmente fue colocada en un mortero con la finalidad de lograr desaglomerar las partículas y luego fue colocada en una luna de reloj que tenía un imán en la parte externa pudiéndose comprobar que se había logrado sintetizar una muestra magnética, tal como se puede observar en la **Figura 3**.

Figura 2. Secuencia experimental observada durante la adición de NaOH (a)pH=1.7 (b)pH=3-5 (c) pH=7-10 (d) pH=12 (e) equipo pH metro de mesa

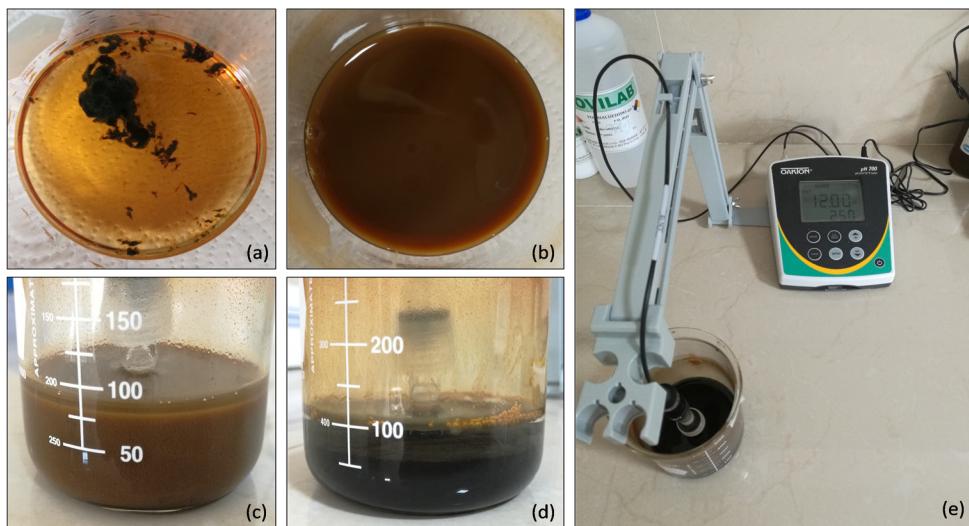


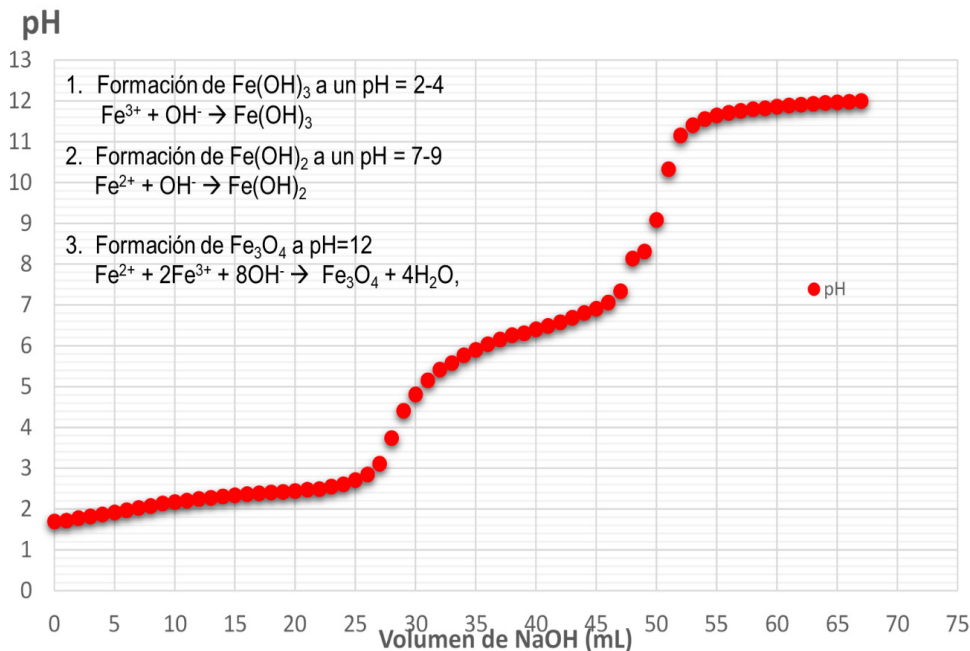
Figura 3. Decantación y lavado, secado, pesaje y muestra con imán.



De acuerdo al Diagrama de Pourbaix para el Sistema Fe-H<sub>2</sub>O se predice que el Fe<sup>+3</sup> será el primero en reaccionar con los iones OH<sup>-</sup> provenientes del NaOH, a través de

la reacción:  $\text{Fe}^{+3} + \text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})_3$ . A medida que se sigue adicionando NaOH a  $\text{pH} > 6.5$  se formaría el  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , mediante la reacción:  $\text{Fe}^{2+} + \text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})_2$  y una vez formados ambos hidróxidos comenzaría a formarse el  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  a través de la reacción:  $\text{Fe}^{2+} + 2\text{Fe}^{3+} + 8\text{OH}^- = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$ , llegándose a completar la reacción a un valor de  $\text{pH}=12$ , (Figura 4).

Figura 4. Curva de titulación de la mezcla de sulfato ferroso y nitrato ferrico con NaOH



### 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 3.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X, DRX.

Se utilizó el Software PowderCell 2.4 para el análisis del difractograma DRX correspondiente a la muestra sintetizada y la comparamos con el difractograma patrón de la magnetita (**Figura 5**). El análisis cualitativo de la Difracción de Rayos X (DRX) mostró coincidencia en los picos en los planos HKL (111), (220), (311), (222), (400), (331), (422), (511), (440), (531), (442) que corresponden a los ángulos  $2\theta$ :  $18.30^\circ$ ,  $30.10^\circ$ ,  $35.45^\circ$ ,  $37.08^\circ$ ,  $43.09^\circ$ ,  $47.18^\circ$ ,  $53.45^\circ$ ,  $56.98^\circ$ ,  $62.57^\circ$ ,  $65.79^\circ$ ,  $66.84^\circ$ . Estos resultados muestran que se obtuvo magnetita pura ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) y no otros óxidos de hierro. El software PowderCell2.4 también nos permitió determinar el tamaño de cristalito de la magnetita que fue de aproximadamente 20nm (**Figura 6**).

Figura 5. Difractogramas DRX de la muestra patrón de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (color rojo) y de la muestra sintetizada por coprecipitación (color negro). Software Powder Cell2.4.

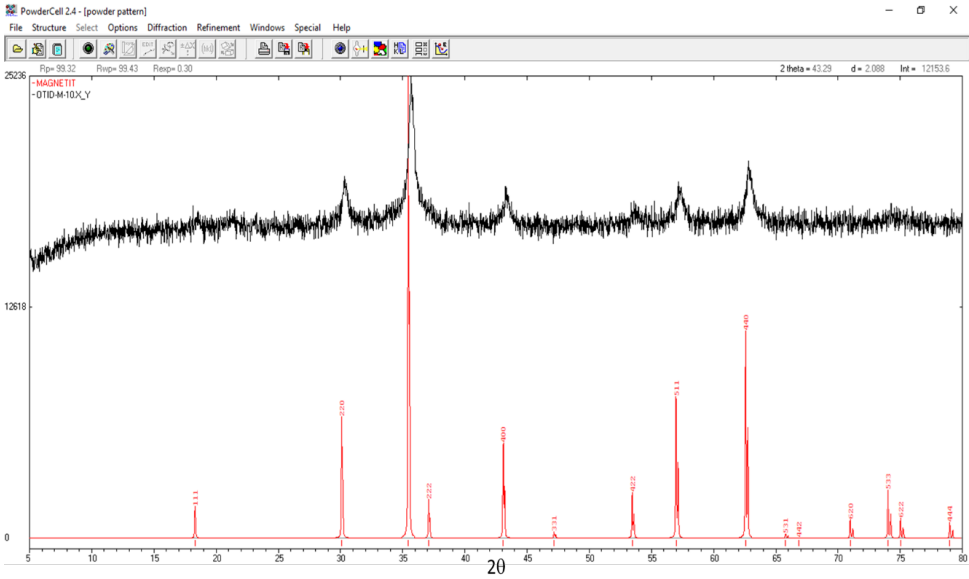
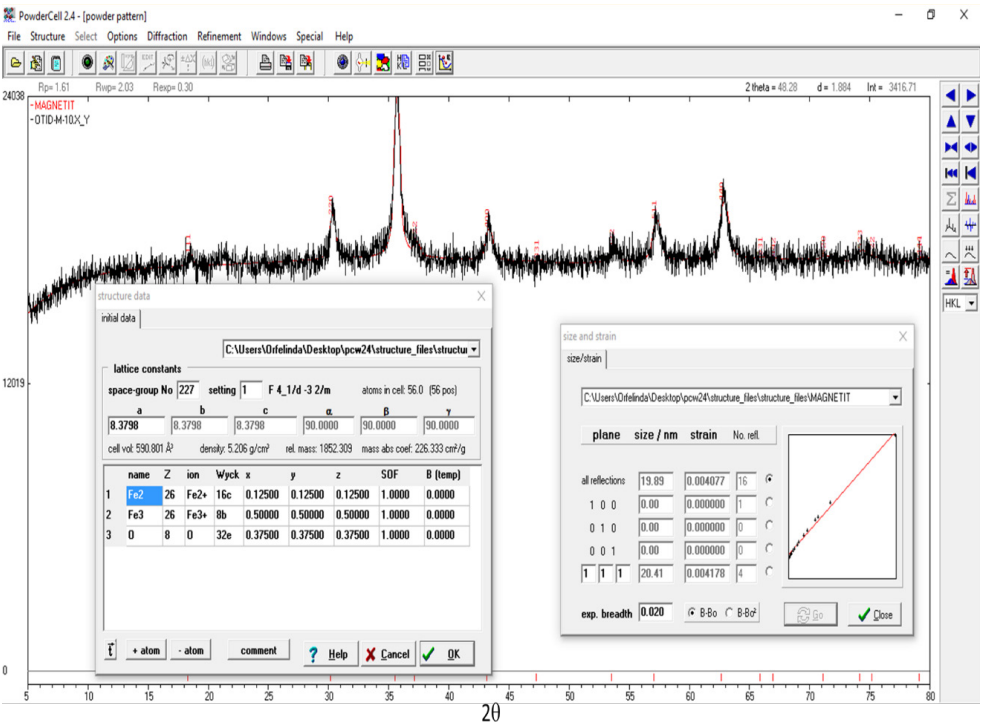


Figura 6. Determinación del tamaño de cristalito de la muestra sintetizada

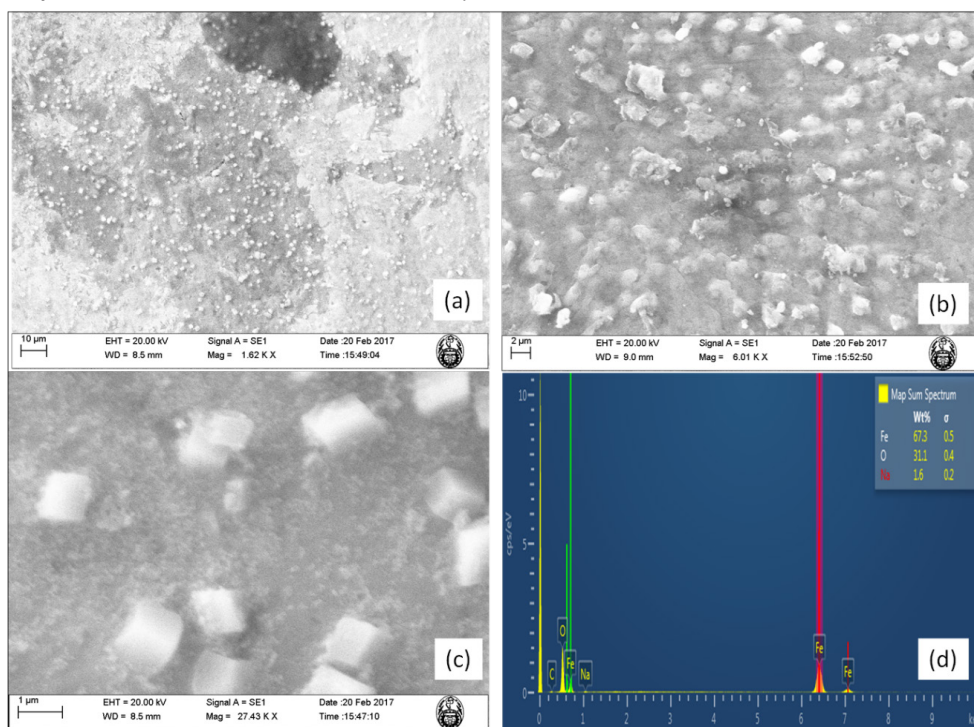




### 3.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Los resultados por Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) mostraron la magnetita sintetizada fue de forma cúbica y con tamaños de partícula menores a 1µm. El análisis químico elemental por EDS (Espectrometría por Dispersión en Energía) acoplado al MEB, muestra que se tiene los porcentajes en pesos de Hierro y del Oxígeno, 67.3% y 31.1% respectivamente, que corresponde al  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , pero también evidencia un valor de 1.6% de Sodio lo cual posiblemente sea algo de impureza que quedó durante la etapa de lavado incompleto (**Figura 7**).

Figura 7. Resultados del Análisis por Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) a tres magnificaciones distintas (a, b, c) y resultados del análisis elemental de la muestra por EDS(d)



### 3.3 PRUEBAS DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO POR ADSORCIÓN EN MAGNETITA

Para las pruebas de remoción de arsénico se emplearon dos tipos muestras, la M58 y la M67. La muestra M58 fue sintetizada utilizando 58mL de NaOH, mientras que la muestra M67 fue sintetizada empleando 67 mL de NaOH. Esta diferencia en las cantidades de NaOH empleadas se debió a que con 58 mL se alcanzó un pH=11.9 mientras que con 67 mL recién se logró alcanzar pH=12.

Los resultados del análisis de área superficial (BET) se muestran en la **Tabla 1** para las muestras M58 y M67. Se puede observar que la muestra de magnetita denominada M58 tiene mayor área superficial que la M67 y por tanto el tamaño de partícula de la M58 es menor a la M67, corroborando la relación inversa entre el tamaño de la partícula y el área superficial, es decir menor tamaño de partícula mayor área superficial.

Tabla 1. Resultados del análisis para la determinación del área superficial del Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> por el método BET.

Muestra	Tamaño de partícula (nm)	Área superficial (m <sup>2</sup> / g)
M58	72.66	82.57
M67	92.06	65.17

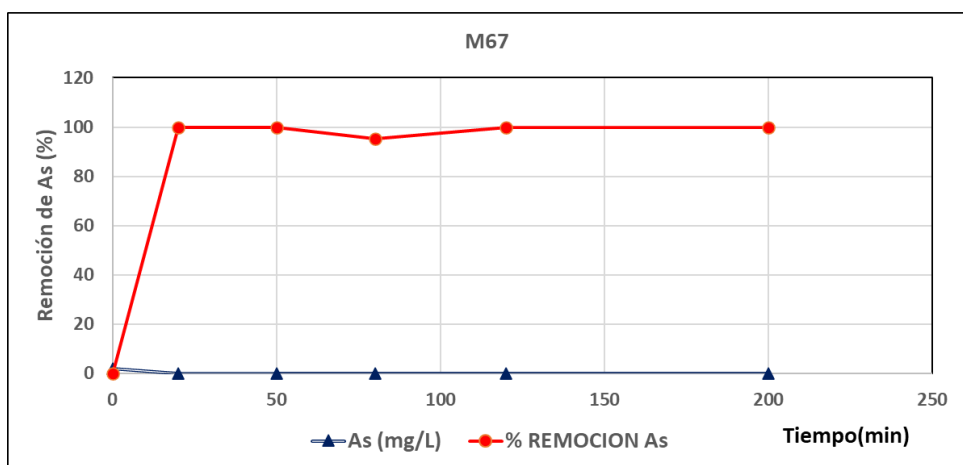
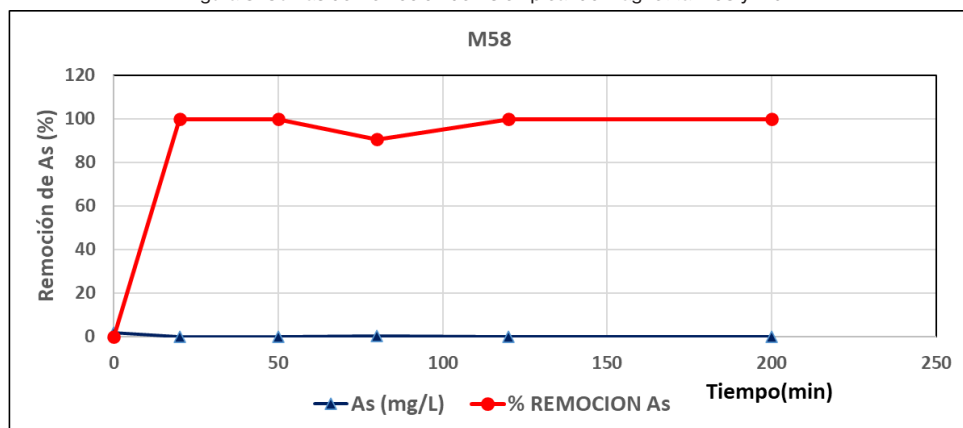
De acuerdo a la literatura (Saidur Rahman Chowdhury, Ernest K. Yanful, 2011) se empleó una concentración de magnetita de 0.4 g/L, es decir se pesaron muestras de 0.004g de magnetita y se colocaron en tubos de ensayo de 10 mL de agua conteniendo 1.9031 mg/L de arsénico. Se procedió a medir el pH de la muestra, obteniendo un valor de pH=8.09, es decir un agua ligeramente alcalina.

En la **Tabla 2** se puede observar los valores del tiempo (min), las concentraciones de As (mg/L) y los % de remoción de As en cada ensayo, empleando las muestras M58 y M67. La **Figura 8** muestra la relación entre el tiempo de contacto y la adsorción de As por la adsorbente magnetita. De acuerdo con la forma de la gráfica, la mayor cantidad adsorbida de arsénico se alcanza entre los 20 y 50 minutos, siendo este el tiempo de equilibrio del proceso para las condiciones experimentales fijadas.

Tabla 2. Resultados de las pruebas de remoción de As empleando las muestras de magnetita M58 y M67.

M58			M67		
Tiempo (min)	As(mg/L)	Remoción de As (%)	Tiempo (min)	As(mg/L)	Remoción de As (%)
0	1.9031	0	0	1.9031	0
20	0.0008	99.958	20	0.0006	99.968
50	0.0006	99.968	50	0.0005	99.974
80	0.1798	90.552	80	0.092	95.166
120	0.0003	99.984	120	0.0003	99.984
200	0.0003	99.984	200	0.0001	99.995

Figura 8. Curvas de Remoción de As empleando magnetita M58 y M67



Por la forma de la gráfica que se obtuvo el proceso de adsorción podría ser dividido en tres etapas: una primera etapa donde la cantidad adsorbida aumenta rápidamente en el tiempo, debido quizás a la difusión del sorbato desde el seno de la solución hasta la superficie del adsorbente. Una segunda etapa donde el proceso se hace muy lento y se desorbe algo de arsénico y una tercera etapa donde nuevamente se incrementa la cantidad adsorbida hasta lograr casi el 100% de remoción de arsénico. Se pudo observar que después de los 120 min casi no hay cambios, esto puede estar relacionado con la saturación de los sitios de adsorción del material y la llegada del sistema al equilibrio.

#### 4 CONCLUSIONES

Se logró sintetizar nanopartículas de magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) utilizando la ruta química de coprecipitación a partir de sulfato ferroso y nitrato férrico en medio alcalino. El análisis

por Difracción de Rayos X (DRX) mostró que se obtuvo 100 % de Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) con un tamaño de cristalito promedio de 20nm. La Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) confirmó que la morfología de la magnetita sintetizada era de forma cúbica y menores a 1 $\mu\text{m}$ , así como también el análisis EDS (acoplado al MEB) demostró que se tiene los porcentajes en pesos de Hierro y del Oxígeno de 67.3% y 31.1% respectivamente, que corresponden a una muestra de magnetita.

De acuerdo a los valores del Área Superficial obtenidos para las muestras M58 y M67 se puede concluir que a pH ligeramente menores a 12 (pH=11.9) se obtienen partículas de magnetita de menor tamaño y por tanto de mayor área superficial que las sintetizadas a pH=12. La magnetita sintetizada demostró tener una excelente capacidad de remoción de arsénico (As) en aguas ya que en tiempos de contacto relativamente cortos (20min) se logró remoción de casi 100% de As en aguas con concentraciones de 1.9 mg/L de arsénico.

## REFERENCIAS

J. BUNDSCHUH, M.A. ARMIENTA, P. BIRKLE, P. BHATTACHARYA, J. MATSCHULLAT, A.B. MUKHERJEE, (2009). Natural Arsenic in Groundwater in Latin America, CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, London, United Kingdom.

JOCHEN BUNDSCHUH, ALEJO PÉREZ CARRERA, MARTA LITTER. IBEROARSEN Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana, CYTED, 2008, volumen 1, capítulo 2.

MARTA I. LITTER, ANA MARÍA SANCHA, ANA MARÍA INGALLINELLA, IBEROARSEN Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas, 2010.

M.L. CASTRO DE ESPARZA, Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. International Congress: Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America, Mexico, 2006. Disponible en: <http://bvsper.paho.org/bvsacd/cd51/arsenico-agua.pdf>

SAIDUR RAHMAN CHOWDHURY, ERNEST K. YANFUL. Arsenic removal from aqueous solutions by adsorption on magnetite nanoparticles, Water and Environment Journal 25, 2011, 429-437.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, Arsenic in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. WHO, 2003, Geneva.

Y. S. LIM, C. W. LAI, S. B. A. HAMID, N. MUHD JULKAPLI, W. A. YEHYA, M. Z. KARIM, M. F. TAI & K. S. LAU. A study on growth formation of nano-sized magnetite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  via coprecipitation method. Materials Research Innovations Vol. 18, Iss. Sup6, 2014, 457-461.

## ABOUT THE ORGANIZER

**MARCOS AUGUSTO DE LIMA NOBRE:** Assistant Professor and Researcher (2006 - present), with citation name M. A. L. Nobre, at the São Paulo State University (UNESP), School of Science and Technology, Department of Physics, campus at Presidente Prudente-SP. Head and Founder (2002) of the Laboratory of Functional Composites and Ceramics (LaCCeF acronym in Portuguese, the native idiom), Lab certified by PROPE-UNESP/National Council for Scientific and Technological Development/CNPq\*. Grants from National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), 2020-2023, 2019-2021 and 2010-2012. Granted with Young-Researcher scholarship by the São Paulo Research Foundation, FAPESP (São Paulo, São Paulo) (2002 - Summer of 2005). Postdoctoral fellow at the Polytechnic School of the University of Sao Paulo (POLI USP-SP) Metallurgy and Materials Science Department with FAPESP Scholarship (1999-summer of 2000). PhD in Science, CAPES Scholarship (Physical Chemistry 1999) by the Chemistry Department, UFSCar-SP. Master in Chemistry CNPq scholarship (Physical Chemistry 1995) by the Chemistry Department, UFSCar-SP. Licentiate degree (4-year of study) in Physics (1993) CNPq and CNPq-Rhae scholarships by the Physics Department, UFSCar-SP. Associate Editor of the Micro & Nano Letters - IET 2019-2020. Associate Editor of the Micro & Nano Letters-Wiley, 2020 - present. Ethical Editor of the Applied Mathematics Science (Reuse) m-Hikari and Modern Research in Catalysis, Irvine-CA, USA (2017- date). Editorial board member of the Artemis Editora, Brazil. Nowadays, have 02 patents. Has published 80 papers at 39 different indexed Journals of renowned Editors. In May/25/2021, has been cited 1379 times, at 76 papers (47 with citations), in according to the ResearchID actual Publons base having an H-index equal to 23. Academic Google score: H = 28, i10 = 45 and 2338 citations. Reviewer of more than three dozen of journals. Have more than 580 communications and presentation in National and International Congress and Symposiums, from these 150 has been published as Conference Paper. Author or co-author of 20 Chapters of book approaching Scientific Divulcation, Teaching of Physic and Chemistry for teachers actuating in the graduating degree. For this, the Nanoscience and Nanotechnology have been the first strategy. Received tens of National and International Awards, Honorable mentions and distinction mentions, as well as titles. Research skills: Materials Science, Advanced Ceramic Processing, Linear and Non-linear Advanced Dielectrics Materials, Solid state chemistry, Impedance spectroscopy of solids and fluids, Structural Characterization via Mid infrared Spectroscopy with Fast-Fourier-Transformed of solid and fluids, Structural and non-structural Phase Transitions in Semiconductor Ferroelectrics. Also, Molecular Interactions in Functional Fluids as biofuels and its blends, probed via mid infrared Spectroscopy. Research interests: New Functional Materials as

amorphous composite based on carbon/nanoparticles and Semiconductor Ferroelectrics.  
Member of the Program of Post-Graduation in Chemistry at UNESP - Campus of São José  
do Rio Preto, IBILCE UNESP – SP, Brazil.

## INDEX

### A

Adsorbente 172, 173, 179, 180

Alumínio 182, 183, 184, 186, 187, 189, 190, 191, 192, 193, 198, 200, 204, 205, 206, 208, 209, 210

Annealing 1, 2, 4, 5, 7, 9, 10, 227

Arsénico 172, 173, 174, 178, 179, 180, 181

AuNR dimer 12, 14, 16, 17, 18, 19

### B

Biodiesel 162, 164, 165, 168, 169, 171

Blends 162, 168, 169, 170, 171

Bulk sensitivity 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 73

### C

Carboxymethylchitosan 125, 127, 128, 129, 132, 133, 136

Celulose 228, 229, 230, 231, 232, 233

Chemical composition of SS surface 109

Clay 125, 127, 128, 130, 131, 133, 136, 137

Comparison among Silica and reuse of waste 77

COMSOL 14, 15, 68

Conductive tubes 92, 93, 94, 95, 100, 102, 104, 106

Confined water 39, 40, 41, 42, 52, 55, 58, 59, 60, 61, 63, 65

### D

DFT 21, 23, 35, 36, 49, 50, 63

Diesel 162, 163, 164, 165, 168, 169, 171

DSSC 213, 214, 217

### E

Efluente 172, 173

Evolutionary strategies 151, 156

### F

FEM 14, 68

Figure of merit 11, 12, 14, 15, 16, 17, 67, 68, 72, 73, 74

Filmes finos 205, 212, 213  
Filter 125, 126, 127, 128, 131, 132, 134, 135, 136, 137  
Fits on Mössbauer spectra 151  
FoM 15, 16, 17, 18, 19, 68, 74

## G

Graphite nanostructures 162

## K

$\text{KSr}_2\text{Nb}_5\text{O}_{15}$  ceramic 138, 139, 141, 144, 146

## M

Magnetita nanoestruturada 172, 173  
Metalurgia do pó 182, 186, 191, 192  
Métodos químicos 198, 201, 205  
Micro and nano silica 76, 77, 78, 79, 84, 90

## N

Nanocomposite 36, 37, 91, 125, 126, 127, 128, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 161, 182, 183, 194, 195, 196, 198, 211  
Nanocompósitos 182, 183, 185, 186, 193  
Nanocristais 228, 229, 230, 232, 233  
Nanoestruturas 182, 198, 200, 201, 202, 206, 210, 213, 217, 218, 219, 222, 223, 224, 226  
Nanograins 1, 2, 3, 9, 138  
Nanolithography 39, 40, 41, 42, 45, 50, 62, 64, 66  
Nanopartículas 151, 180, 212, 224, 228, 229, 231  
Nanostructures 2, 9, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 21, 22, 23, 25, 38, 61, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 138, 162, 170, 211, 213, 226, 227  
Nanostructures surface 21, 22, 23  
Nanotechnology 12, 20, 62, 66, 102, 106, 126, 138, 162, 183, 195, 213, 226  
Nanotecnologia 182, 212  
 $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles 150, 151, 153

## O

Oxidation 39, 40, 41, 42, 53, 55, 59, 64, 65, 91, 109, 117, 118, 121  
Óxido de grafeno reduzido 182, 183, 186



Óxido de zinco 197, 213

## P

Papel reciclado 228, 229, 232, 233

Perfectly matched layer 11, 12, 15, 68, 69

PIII in magnetic field 109

Plasma immersion ion implantation 92, 93, 94, 107, 108, 109, 122, 123, 124

## R

RI 15, 16, 67, 68, 72, 73

Rice husk Silica 77

Rolling 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9

Rough rolls 1, 2, 3, 8, 9

## S

SILAR 198, 200, 201, 204, 205, 206, 210, 212, 213, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 226

Silica Morphology 77, 83

Silver nanoparticles 74, 125, 127, 128, 129, 130, 132, 133, 136, 137

Supercapacitores 197, 198, 199, 200, 202, 209, 210

Surface 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 50, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 75, 77, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 88, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 129, 152, 160, 161, 173, 211, 213, 226, 227

Surface modification 37, 38, 92, 93, 106, 109, 110

## U

Ultrananocrystalline Diamond Films 93, 108

## V

Viscosity 89, 162, 163, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171

## X

X-ray photoelectron spectroscopy 42, 92, 96, 103, 108, 109, 111, 123

## Z

ZnO 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227

ZnO nanocrystals 21, 23, 25, 35



**EDITORA  
ARTEMIS**