

CIENCIAS EXACTAS

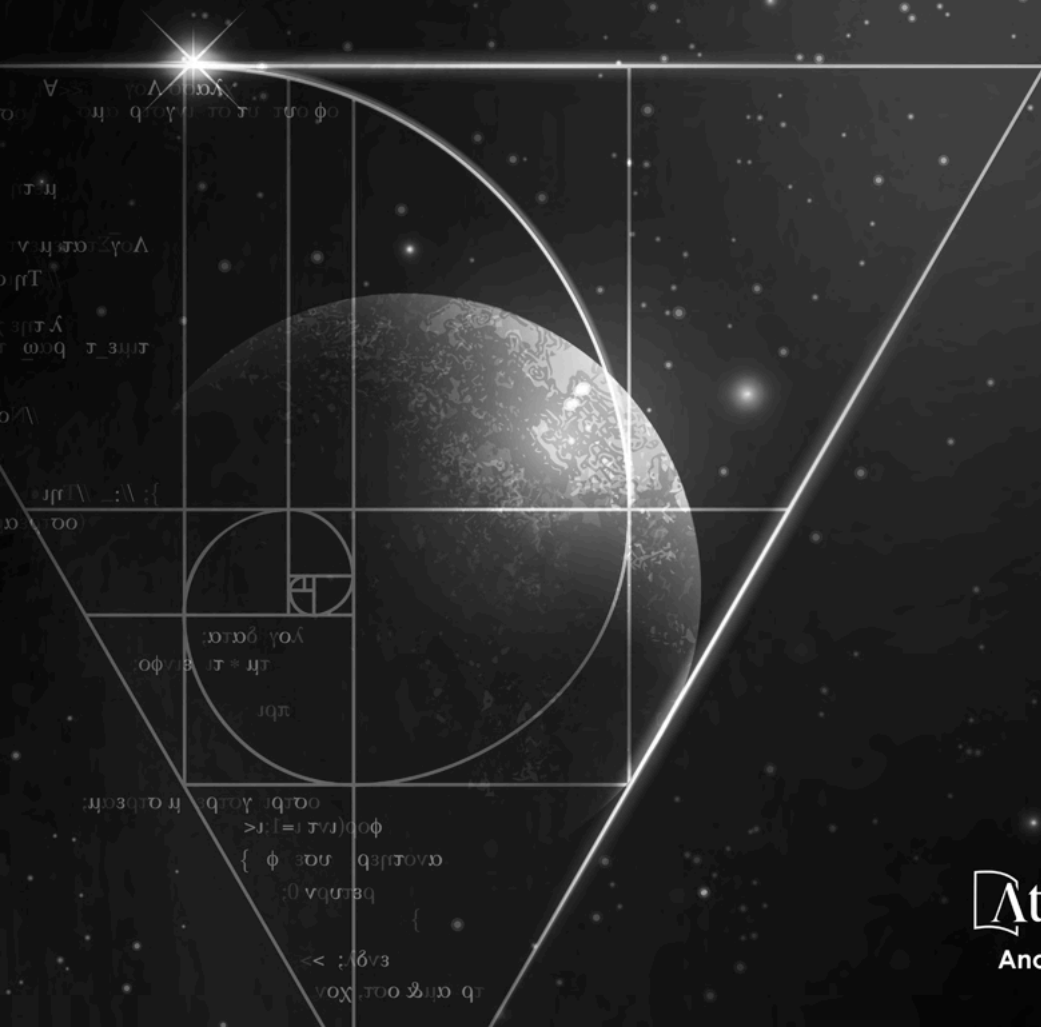
Y DE LA TIERRA:

Observación, formulación y predicción

4

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA

(Organizador)



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 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-Não-Derivativos 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 Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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 Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
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
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
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



Ciências exactas y de la tierra: observación, formulación y predicción 4

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C569 Ciências exactas y de la tierra: observación, formulación y predicción 4 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0622-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.228221410>

1. Ciências exactas y de la tierra. 2. Matemáticas. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 507

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



Atena
Editora
Ano 2022

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.



PRESENTACIÓN

El e-book titulado: “Ciencias exactas y de la tierra: Observación, formulación y predicción 4” consta de seis capítulos de libros que buscaban investigar: *i)* el proceso de enseñanza- aprendizaje de las ecuaciones en la formación de estudiantes de secundaria y superior curso de ingeniería; *ii)* aplicación de las matemáticas en estudios meteorológicos y desarrollo de aeronaves pilotadas a distancia (RPA); *iii)* análisis de estabilidad coloidal por espectroscopía óptica y voltamperometría; *iv)* evaluación de áreas de preservación permanente (APP's) en la ciudad de Marabá/PA.

El primer capítulo evaluó las numerosas dificultades presentadas en el proceso de enseñanza- aprendizaje de las matemáticas para los estudiantes de secundaria, quienes señalaron una serie de dificultades en la escritura, lectura, interpretación y resolución de problemas en relación a las operaciones matemáticas básicas. El capítulo 2 investigó el uso del algoritmo árbol en aplicaciones de parámetros meteorológicos, lo que resultó en una precisión del 80% en relación al 62% que presenta la regresión bayesiana. El tercer capítulo evaluó los numerosos factores que inciden en el desempeño de los estudiantes de matemáticas en las carreras de ingeniería del Instituto Politécnico Nacional de México, entre los que se encuentran: *i)* las ausencias a clases al final del semestre; *ii)* exceso de interacción social y confianza en los primeros semestres; *iii)* falta de disciplina en los estudios extracurriculares; *iv)* falta de búsqueda de estudios en grupos y la ayuda de medios digitales.

El capítulo 4 presentó un estudio de revisión de literatura que demuestra la amplia aplicación de RPA y la posibilidad de innovación en relación con la recopilación de datos de forma rápida y a bajo costo. El quinto capítulo evaluó el uso de técnicas espectroscópicas (UV-Vis-IR) y electroanalíticas (volamperometría cíclica) en estudios de caracterización de coloides preparados a partir de nanopartículas (NP's) de plata, los resultados mostraron que las técnicas pueden ser utilizadas in loco y que constituyen un instrumentación compacta, simple y de bajo costo. Finalmente, el sexto capítulo investigó el crecimiento urbano de las APP en la región de Cidade Nova en Marabá/PA, estudios realizados entre los años 1990 a 2015 identificaron una disminución del 28% de las APP, lo que resulta en propuestas urgentes de políticas públicas que pueden garantizar tanto la conservación de las APP como la revisión del Plan Director del municipio de Marabá.

En esta perspectiva, Atena Editora viene trabajando para estimular y alentar a cada vez más investigadores de Brasil y de otros países a publicar sus trabajos con garantía de calidad y excelencia en forma de libros, capítulos de libros y artículos científicos.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1


EQUAÇÕES DE PRIMEIRA SÉRIE PARA O ENSINO MÉDIO NO CONTEXTO DO ENSINO PARA COMPREENSÃO

Edwin Smith Rivera Fernández

Romelio José Gonzales Daza

Gustavo Adolfo Rodriguez


Alcides Paes Soto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2282214101>

CAPÍTULO 2..... 11

ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN MEDIANTE UN ENFOQUE DE MACHINE LEARNING Y SU APLICACIÓN AL ESTUDIO METEOROLÓGICO

Pedro Elizardo Donis del Cid

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2282214102>

CAPÍTULO 3..... 25

ANÁLISIS DE AUTORREGULACIÓN EN FORMACIÓN MATEMÁTICA DE INGENIEROS EN LA UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE INGENIERÍA CAMPUS GUANAJUATO (UPIIG)

Gilda Rosa Bolaños Evia

Lenin Augusto Echavarría Cepeda

Luis Rey Díaz Barrón

Yazpik Hernández Vargas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2282214103>


CAPÍTULO 4..... 33

AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS: BREVE ABORDAGEM

Dalton Nasser Muhammad Zeidan

Renan Valério Eduvirgem

Maria Eugênia Moreira Costa Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2282214104>


CAPÍTULO 5..... 40

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE COLOIDES DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA POR ESPECTROSCOPIA-ÓPTICA Y VOLTAMETRÍA

Margarita Navarrete Montesinos

Rodrigo Mayén-Mondragón

Daniel Aguirre-Aguirre

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2282214105>

CAPÍTULO 6..... 55

CRESCIMENTO URBANO NAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APPS): UM ESTUDO DE CASO DA MARGEM DO RIO ITACAIÚNAS NO NÚCLEO CIDADE NOVA, MARABÁ-PARÁ

Ana Carolina Seabra de Vilhena Linhares

Priscylla Assis Carvalho
Jakeline Oliveira Evangelista
André dos Santos Araújo
Glauber Epifanio Loureiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2282214106>

SOBRE EL ORGANIZADOR	68
ÍNDICE REMISSIVO	69

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE COLOIDES DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA POR ESPECTROSCOPIA-ÓPTICA Y VOLTAMETRÍA

Data de aceite: 03/10/2022

Data de submissão: 08/08/2022

Margarita Navarrete Montesinos

Instituto de Ingeniería, Lab. De Pruebas No Destructivas, Universidad Nacional Autónoma de México, en PUNTA-UNAM, Apodaca, Nuevo León 66629, México.
<https://orcid.org/0000-0001-6083-7900>

Rodrigo Mayén-Mondragón

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México en PUNTA, Apodaca, Nuevo León
www.punta.unam.mx

Daniel Aguirre-Aguirre

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México em PUNTA-UNAM, Apodaca, Nuevo León 66629, México
www.punta.unam.mx

RESUMEN: Reportamos la aplicación de la espectroscopia UV-vis-IR y la voltamperometría cíclica para la caracterización y estudio de la estabilidad de coloides de plata. Se preparan muestras de diferentes colores mediante reducción química variando la concentración de citrato / borohidruro y aplicando irradiación con luz blanca por varias horas. La respuesta electroquímica de cada muestra se relaciona con la resonancia del plasmon superficial (SPR) característico detectado a partir de su espectro de absorción. La voltametría cíclica

evidencia un pico de reducción cuya posición es específica para cada muestra. Se realiza el seguimiento del precursor coloidal durante 12 h, bajo irradiación de luz blanca, y se detecta que las AgNPs experimentan cambios en tamaño y estado superficial (división e inversión de las bandas de absorción) para alcanzar la forma coloidal “estable”. Mientras que la bandas del espectro absorción del precursor regresan casi periódicamente a posiciones similares, el pico de reducción característico del voltamograma se desplaza en función del tiempo. Finalmente, seguimos los cambios SPR de un coloide “estable” que se somete a electrólisis, calentamiento e irradiación solar, con fines de remediación ambiental. La exposición a la luz solar produce la caída más significativa del SPR, pero la técnica electroquímica se muestra prometedora también.

PALABRAS CLAVE: Nanopartículas de plata, Voltametría cíclica, Espectroscopia UV-Vis-IR.

ABSTRACT: The application Uv-vis-IR spectroscopy and cyclic voltammetry are reported for the characterization and study of the stability of silver colloids in water. Samples of different colors are prepared via chemical reduction, varying the concentration of citrate / borohydride and applying irradiation with white light for several hours. The electrochemical response of each sample is related to the surface plasmon resonance (SPR) detected from its UV-vis-IR absorption spectrum. The cyclic voltammetry shows a reduction peak whose position is specific for each sample. Follow-up of the colloidal precursor is carry out for 12 h, under irradiation of white-light, and it is detected that the AgNPs

undergo change in size and surface state (absorption bands splitting and inversion) to reach the “stable” colloidal form. While the precursor absorption spectrum bands periodically return to similar positions, the characteristic reduction peak of the voltammogram shifts in time. Finally, we follow the SPR changes of one “stable” colloid that undergoes electrolysis, heating, and sunlight irradiation (for environmental remediation purposes). Exposure to sunlight produces the most significant drop in the SPR band, but the electrochemical technique shows itself promising as well.

KEYWORDS: Silver nanoparticles, UV-vis-IR spectroscopy, Cyclic Voltammetry.

1 | INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas los esfuerzos de la investigación en nanociencia y nanotecnología a crecido en forma exponencial. La tendencia hacia el uso de materiales y dispositivos multifuncionales ya no solo se aplica a los dispositivos optoelectrónicos, como teléfonos inteligentes, células solares, pantallas, etc., sino también a los productos de consumo, agropecuarios y médicos. Actualmente comenzamos a comprender el enfoque nano, sus funcionalidades a través del uso de superficies y materiales, sus formas de fabricación, síntesis y procesamiento. En la actualidad, los átomos, las moléculas, los grupos y las nanopartículas se usan como bloques de construcción funcionales para confeccionar fases nuevas de la materia condensada. Altera las dimensiones de los bloques de construcción, controla su geometría superficial, química, ensamblaje y, por lo tanto, genera las funcionalidades.

La industria está incorporando nanopartículas (NPs) a sus productos estándar con la esperanza de agregar valor e innovación. Las NPs metálicas son una opción ya que exhiben diferentes propiedades fisicoquímicas relacionadas con su tamaño y forma (Chouhan; Abbas et al., 2018). Una de sus propiedades ópticas destacadas es la resonancia de plasmon superficial (SPR por sus siglas en inglés), es decir, la oscilación colectiva de los electrones de conducción excitados por el campo electromagnético de la luz (Kreibig et al., 1996). Dentro de las NPs metálicas disponibles, la gama de nanopartículas de plata (Ag-NPs) es una selección de consumo popular; ya que exhiben pérdidas insignificantes en su frecuencia óptica durante la propagación de su plasmón superficial (Gong et al., 2009), son fáciles de detectar, además muestran alta conductividad eléctrica y térmica, absorción en la región Vis-IR, mejoran la dispersión Raman, tienen actividad catalítica, alta capacitancia eléctrica de doble capa y comportamiento óptico no lineal. Además, exhiben un amplio espectro de alta actividad antimicrobiana (actividad bactericida y fungicida) que impulsa a los científicos y tecnólogos a desarrollar productos desinfectantes basados en nanoplatina (Bittar et al., 2017, Qing et al., 2017).

Diferentes métodos de confección se han desarrollado para sintetizar Ag-NPs en una variedad de formas, por ejemplo; discos, cilindros, prismas, alambres, estructuras huecas, etc., (Krutiyakov et al., 2008; Métraus et al., 2005). La técnica de reducción de

citrato/borohidruro se aplica para la preparación de Ag-NPs coloidales, ya que promueve la estabilidad coloidal y al mismo tiempo permite la producción en masa a bajo costo. En dicho método, el tamaño de partícula y el estado de aglomeración del coloide dependen de la concentración de nitrato de plata y la relación entre citrato/borohidruro, el tiempo de reacción, la temperatura, el pH y la fuente de energía externa. La energía externa suministrada sostiene la cinética de la reacción. Diferentes tipos de energía se han probado, por ejemplo, ultrasónido, calentamiento dieléctrico de microondas, rayos X, luz UV y luz láser (Panda et al., 2018). Incluso la luz solar ha sido reportada para la síntesis de Ag-NPs coloidales (Tang et al., 2015; Gorham et al., 2012). En general, la formación de Ag-NPs coloidales estables mediante el proceso de reducción de citrato mediado por fotones se reproduce a través de dos pasos: fotorreducción de iones Ag^+ para la formación de NPs estables (nucleos) y crecimiento fotoinducido de los nucleos (siendo el mecanismo dependiente de la longitud de onda de la fuente de radiación), Maillard et al., 2003). El uso extendido de NPs que se da actualmente en el mundo genera la necesidad de estudiar su impacto en los ecosistemas, seguridad alimentaria y salud humana. Se establecen temas nuevos de estudio: la interacción entre las plantas de cultivo y las NPs, la remediación ambiental de los cuerpos contaminados con NPs.

La naturaleza heterogénea de las NPs y sus concentraciones usualmente bajas, así como la variedad de matrices ambientales presentan un gran desafío para su detección, caracterización y remediación. En el caso de las Ag-NPs, los investigadores aplican las técnicas clásicas (microscopía de fuerza atómica, microscopía electrónica de barrido, dispersión de luz dinámica, microscopía electrónica de transmisión, espectroscopía de fotoelectrones de rayos X, análisis de difracción de rayos X, espectroscopía UV-visible (UV-vis) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier) para su estudio a nivel de laboratorio. Entre estas, la espectroscopía UV-vis es el método conveniente y factible para la detección rápida del pico típico de las Ag-NPs en el intervalo de 385-450 nm. La mayoría de dichas técnicas requieren de infraestructura, equipo e instrumentación que en sí mismo tiene poca flexibilidad y versatilidad en el campo industrial. Actualmente, se requiere una detección rápida y directa de las NPs metálicas en áreas biomedicas, para determinar la calidad del agua y los estudios de toxicidad. En esta dirección, los métodos electroquímicos serían una alternativa económica para realizar el análisis rápido de muestras acuosas para detectar por ejemplo NPs de oro (Bonanni, et al., 2011), plata (Ivanova et al., 2010) ó platino (Tang et al., 2010). En ciertos casos, se necesita realizar la correlación entre la señal electroquímica y el tamaño de partícula [Ivanova et al., 2010]. La detección y caracterización de NPs por métodos electroquímicos se lleva a cabo en dos vías: inmovilización de las NPs en la superficie del electrodo (Giovanni et al., 2011) o detección directa de NPs que golpean la superficie del electrodo (Ress et al., 2011). En la última década, los diferentes estudios sobre las Ag-NPs concluyen que:

- Las propiedades ópticas únicas están asociadas con la resonancia del plasmon superficial.
- La espectroscopia UV-vis detecta una banda de absorción típica en el intervalo de 385–450 nm.
- Las superficies de las NPs tienen actividad catalítica y alta capacitancia en su doble capa eléctrica.

En el presente trabajo, investigamos el comportamiento electroquímico por voltamperometría cíclica de coloides de Ag-NPs, como complemento a las herramientas ópticas comunes utilizadas para su caracterización. La respuesta electroquímica se encuentra correlacionada con el pico principal en los espectros de absorción así como el tamaño promedio de las partículas.

Se estudian y analizan tres casos diferentes, a saber:

- a) caracterización de las siete suspensiones muestra de Ag-NPs, cada una con diferente tamaño y forma de NPs,
- b) seguimiento de la evolución del precursor coloidal durante su iluminación con luz blanca, y
- c) seguir el efecto de exponer una muestra coloidal bien establecida a la luz solar, calor y tratamiento electroquímico, para promover la precipitación de las partículas.

2 | EXPERIMENTOS

Las muestras coloidales de Ag se preparan mediante reducción química. La descripción detallada del proceso se da a conocer en (Sato-Berru et al., 2018, Navarrete et al., 2020). En términos generales, los precursores coloidales se preparan agregando 0.002 a 0.2 ml de citrato de sodio, 0.002 a 0.2 ml de borohidruro de sodio y 0.2 ml de nitrato de plata (en el orden indicado) a 20 ml de agua desionizada. Las soluciones se agitan durante 10 min y luego se colocan bajo luz blanca durante 24 h (dos lámparas de luz blanca combinadas para proporcionar un flujo luminoso de unos 1000 lx). A medida que avanza la fotoagregación, se desarrollan diferentes colores en las muestras; esto se debe principalmente a diferencias en la concentración de las sustancias reductoras.

Las muestras se someten a las siguientes pruebas:

- a. Comparación de la respuesta óptica y electroquímica de los coloides de plata antes y después de la eliminación del oxígeno disuelto de las muestras mediante el burbujeo de gas argón.
- b. Caracterización óptica y electroquímica de los coloides recién preparadas con diferente color y su respuesta óptica tras seis meses de almacenamiento en condiciones de oscuridad.
- c. Evolución de la respuesta óptica y electroquímica de un precursor de coloide de

plata durante la irradiación con luz blanca.

d. Sedimentación de las muestras coloidales mediante la aplicación de electrólisis a granel, luz solar y calor (con fines de remediación ambiental).

A. Mediciones Electroquímicas

La unidad de potenciostato (Bio-Logic SP 150) se conecta a los tres electrodos de una celda estandar de vidrio cilíndrica que contiene la muestra coloidal, como se muestra en el recuadro de la Fig. 1.

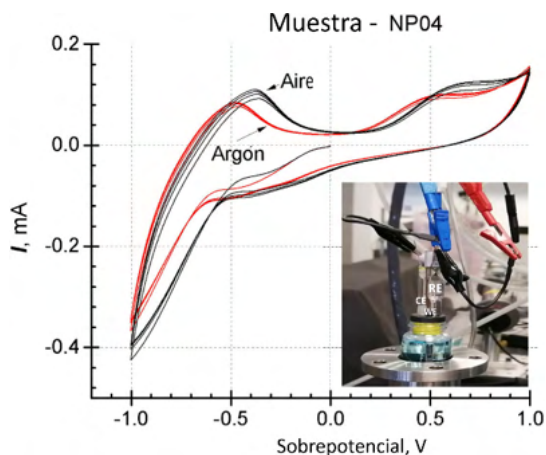


Fig. 1. Voltamograma cíclico de la muestra recién preparada NP04 con y sin burbujeo de gas argón durante 5 minutos a una velocidad de barrido de 100 mV/s. Recuadro: celda de vidrio cilíndrica de tres electrodos.

Como electrodo de trabajo (WE) se utiliza una varilla de acero inoxidable 304 (3 mm de diámetro), el contraelectrodo (CE) es un alambre de platino (Sigma-Aldrich, 0,5 mm de diámetro) y el electrodo de referencia (RE) es de sulfato de mercurio (BAS Inc., RE-2C, $E^0 = 0.65$ V vs NHE) es el electrodo de referencia (RE). Con tal configuración, el potencial eléctrico se aplica entre el WE y el RE, mientras que la corriente de la celda fluye entre el WE y el CE. Antes de la adquisición de cada voltamograma cíclico, se burbujea gas argón en el electrolito durante 5 min. Esto se hace para agotar el electrolito de su gas de oxígeno disuelto. De esta forma, la respuesta electroquímica del oxígeno no aparece en el voltamograma y se retrasa la oxidación del electrodo de acero inoxidable (mejorando así la repetibilidad del ciclo). El potencial eléctrico se barre primero a 100 mV/s en la dirección negativa (-1 V de su valor de circuito abierto, E_{oc}) para promover la reducción de cualquier especie electroactiva que pueda reaccionar en ese rango de potencial. Posteriormente, se invierte en sentido positivo a +2 V para promover la oxidación de especies electroactivas. Se barren como mínimo tres ciclos completos para cada muestra. Con fines comparativos, también se adquieren voltamogramas cíclicos de una solución de nitrato de plata (1×10^{-3}

M). La Figura 1 compara la respuesta electroquímica de la muestra NP04 con y sin burbujeo de gas argón. Como se observa, los ciclos voltamperométricos parecen estar más cerca uno del otro después de que se agotó el oxígeno disuelto del electrolito. Por lo tanto, se adquirieron más voltamogramas en tales condiciones.

B. Mediciones espectroscópicas

La muestra coloidal se vierte en una celda espectroscópica desechable de 3 ml. Se utilizan espectrómetros OceanOptics (HR 2000C) y Thorlabs (CCS200) para capturar los espectros de absorción. La superposición de ambas respuestas permite lograr un ancho de banda espectral de 250 a 1000 nm.

C. Evolución de las respuestas óptica y electroquímica del coloide de plata precursor durante la irradiación con luz blanca

Un precursor de coloide de plata se irradia durante 12 h con luz blanca con una lámpara de 50 W (400-900 nm) (reflector de tungsteno-halógeno, Osram, 780 lx). El espectro de absorción de la muestra y el voltamograma cíclico se adquieren cada hora. El espectro de absorción se captura inmediatamente después de la corrida voltamperométrica.

D. Sedimentación de coloides mediante la aplicación de electrólisis, luz solar y calor

La muestra NP26 se establece en cuatro ciclos de electrólisis a granel subsiguientes (tres veces a +1 V vs. E_{oc} durante 10 min, y el último a -1 V vs. E_{oc} durante 10 min). Posteriormente, la muestra se expone a la luz solar directa durante 30 min. A continuación, se calienta en una placa caliente a 60 °C durante 30 min y finalmente se vuelve a irradiar con luz solar durante 30 min. El espectro de absorción se captura inmediatamente después de cada prueba. El pH de la muestra y la conductividad iónica se miden solo después de cada prueba de electrólisis.

3 | RESULTADOS

A. Caracterización

Las principales características espectroscópicas UV-vis de las muestras se resumen en la Tabla 1. El tamaño de partícula promedio calculado para las muestras NP15 y NP26 son similares debido a la proximidad su pico principal en el espectro de absorción. Dicho pico se utiliza para calcular el tamaño de partícula promedio usando un modelo matemático que considera partículas esféricas [7]. En la práctica, los cúmulos de plata alcanzan diferentes geometrías [18-19], lo que conduce a variaciones en el ancho del pico a la mitad del máximo (FWHM) y a la formación de hombros (ver Tabla 1). Tales características modificar los espectros de emisión y, por lo tanto, dar lugar a diferentes colores observables (ver Fig. 2). La Figura 3 muestra el espectro de absorción del precursor del coloide después de 4 h

de irradiación con luz blanca. La banda plasmónica se observa entre 350 y 450nm (FWHM) con dos picos (375 y 413 nm) y un hombro a 287 nm. El color asociado es amarillo-verde, como se distingue en el recuadro de la Fig. 3. La Fig. 4 muestra el voltamograma cíclico de la muestra NP03, su perfil es similar al de las otras seis muestras. Para potenciales negativos y positivos la corriente aumenta debido a la reducción y oxidación electroquímica del agua, respectivamente. El pico de aproximadamente -0.45 V se debe a la reducción electroquímica de los iones de Ag⁺ absorbidos en la superficie de las Ag-NPs que golpean el electrodo de trabajo.

Muestra	Pico Izq. [nm]	λ_m / FWHM [nm]	Pico Der. [nm]	Tamaño [nm]
NP04	433	589/123	*	192
NP12	410	659/100	*	260
NP15	*	406/106	632	15
NP26	*	407/58	*	15
NP00	*	413/53	630	34
NP32	498	611/60	*	203
NP03	*	566/85	*	170

* no se observó bandas vecinas

Tabla I. Posición de los principales picos de absorción de los coloides y bandas vecinas. El tamaño promedio de partícula se calcula considerando el pico de absorción y forma esférica [7].

Dichos iones deben su origen a la sensibilidad de la superficie de las AgNPs de valencia cero al oxígeno presente durante la preparación del precursor coloidal de Ag (Lok et al., 2007). El pequeño pico de oxidación alrededor de 0.25 V corresponde a la oxidación de los iones Ag⁺ reducidos. Comparativamente, los iones de plata en solución presentan un pico de reducción de alrededor de -0.55 V, como se muestra en el recuadro de la Fig. 4. El desplazamiento del pico de reducción se origina por cambios en el entorno que rodea a los iones Ag⁺ electroactivos. Las energías asociadas a los niveles de electrones de los iones son diferentes cuando están en la solución que cuando están anclados a la superficie de las NPs. Los iones en el último caso (sitios de superficie) son claramente menos estables que mayoría volumétrica de la solución. La Figura 5 presenta los voltamograma de primer escaneo en la región de reducción de las muestras. Tenga en cuenta que el potencial de circuito abierto se resta del potencial en el eje X para fines de comparación. La posición del pico de reducción de los iones de Ag⁺ es distintiva en casi todas las muestras. Tal comportamiento se debe a las variaciones asociadas al tamaño, forma y su entorno. La Fig. 6 traza la ubicación del pico de reducción de iones de Ag⁺ vs su tamaño promedio. El pico de reducción cambia a potenciales más positivos a medida que disminuye el tamaño. Sin embargo, las muestras NP15 y NP26 (las de menor tamaño) quedan fuera de este

comportamiento.

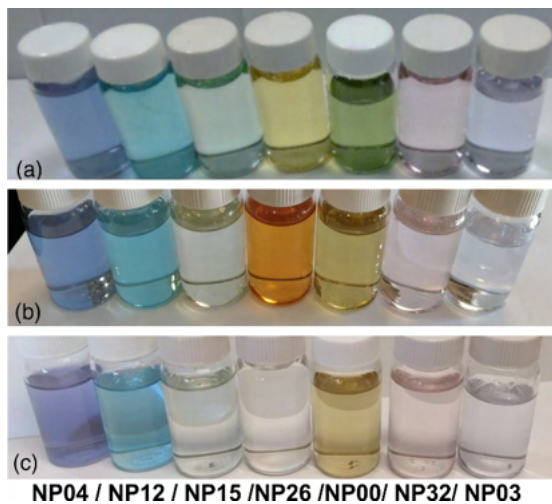


Fig. 2. Imágenes de los coloides de Ag-NPs. (a) Muestras frescas; (b) muestras después de seis meses de almacenamiento en condiciones de oscuridad; (c) muestras después de once meses de almacenamiento en condiciones de oscuridad.

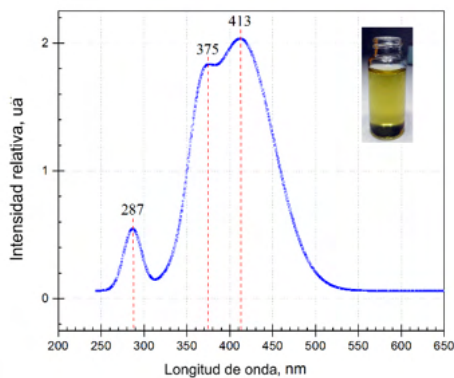


Fig. 3. Espectro de absorción del coloides precursor.

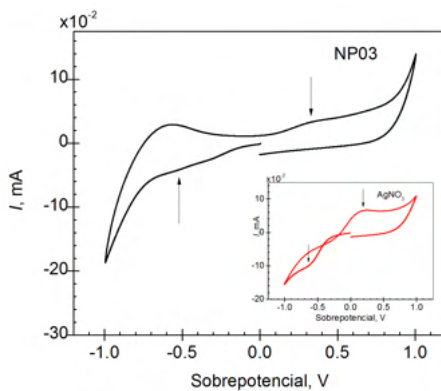


Fig. 4. Voltamograma cíclico de la muestra NP03. Recuadro: voltamograma de la solución de nitrato de plata 1×10^{-3} M.

Esto podría deberse a que la técnica electroquímica carece de sensibilidad en ese intervalo de tamaño de partículas. La relación entre la posición del pico de absorción principal y el tamaño promedio sigue una distribución similar a la que se muestra en la Fig. 6. Esto es de esperar, ya que el tamaño promedio se determina a partir de la posición del pico de absorción principal utilizando un modelo matemático lineal (Krutayakov et al., 2008). En la Fig. 7 se despliegan los espectros de absorción de las siete muestras de los coloides de plata recién preparadas y su evolución durante su confinamiento en condiciones de

oscuridad; véase la Fig. 2. Las diferentes bandas de plasmones generan los colores distintivos que se aprecian en la Fig. 2(a).

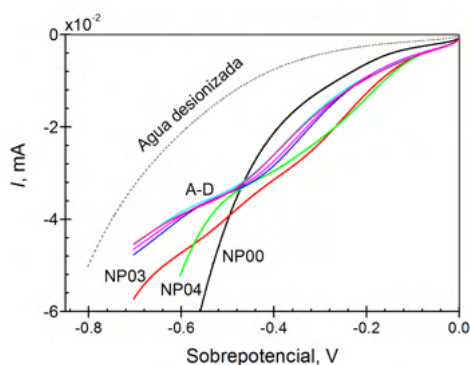


Fig. 5. Región de reducción de los voltamogramas. Se incluye como referencia el comportamiento del agua desionizada. A-D, NP15; NP26; NP32; NP12.

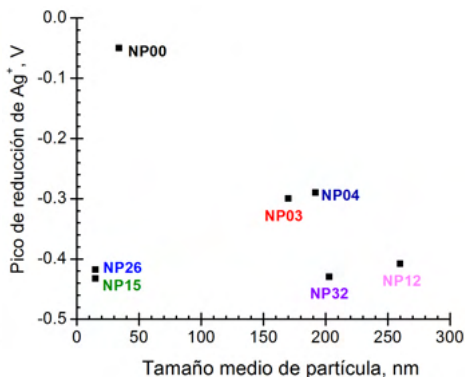


Fig. 6. Tamaño promedio vs la posición del pico de reducción de iones de Ag^+ .

Después de seis meses de almacenamiento en condiciones de oscuridad, NP32, NP26 y NP03 presentan cambios de banda de plasmón; véase la figura 2(b). Los dos primeros colides se distinguen por un cambio de color significativo, mientras que el último no (las nuevas bandas en su espectro de absorción se encuentran en la región infrarroja); véase la Fig. 2. En cualquier caso, no se produce una sedimentación significativa.

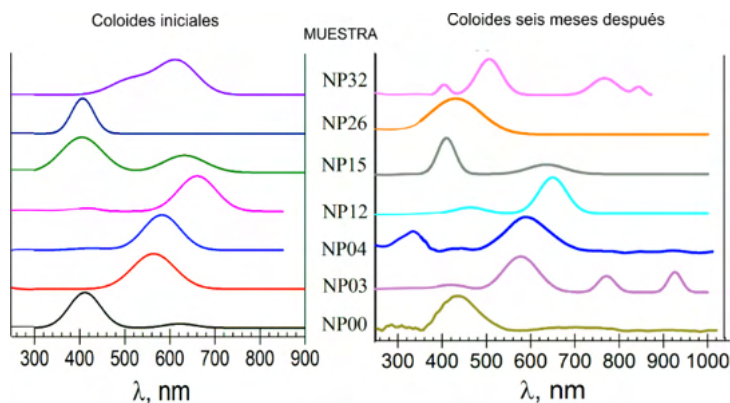


Fig. 7. Comparación entre los espectros de absorción de las muestras frescas y tras seis meses de almacenamiento en condiciones de oscuridad. Cada curva presenta un desplazamiento vertical para mayor claridad. Ver imágenes de la Fig. 2 para comparar la evolución en los colores de muestras.

B. Evolución de la respuesta óptica y electroquímica del precursor coloidal de plata durante la irradiación con luz blanca

La Fig. 8 muestra la evolución en el tiempo (intervalos de 2 h para las primeras 10 h de prueba) del voltamograma del coloide precursor (región de reducción) durante la iluminación con luz blanca. Se observa que la posición del pico de reducción cambia con el tiempo.

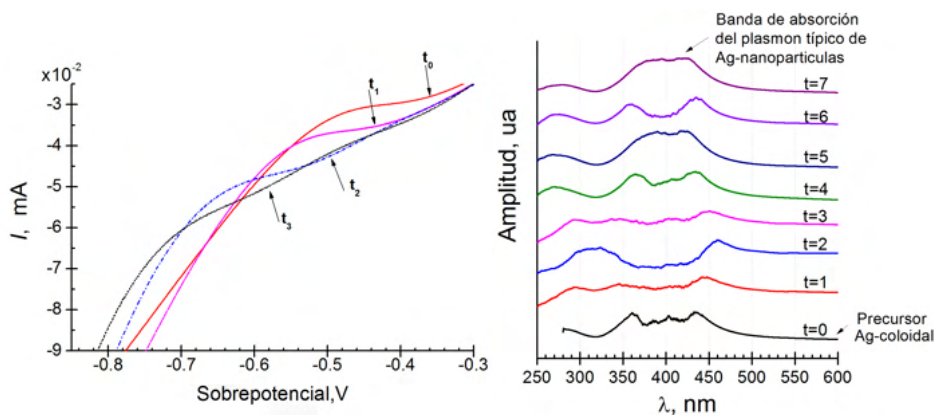


Fig. 8. Evolución en el tiempo del voltamograma cíclico (región de reducción) del coloide precursor durante la irradiación con luz blanca ($t_0 = 4$ h, $t_1 = 6$ h, $t_2 = 8$ h, $t_3 = 10$ h).

Fig. 9. Evolución en el tiempo de la banda de absorción plasmónica del coloide precursor durante las primeras 7 h de irradiación con luz blanca; $t =$ tiempo en horas. Observe la partición e inversión de las bandas de

Tal comportamiento es consistente con los desplazamientos de banda observados en los espectros UV-vis. La Fig. 9 muestra la evolución en el tiempo (intervalos de 1 h para las primeras 7 h) de la banda de absorción plasmónica del coloide precursor durante la iluminación con luz blanca. La banda plasmónica indica la existencia de clusters de Ag-NPs con diferentes tamaños y formas dentro de la misma muestra. El color del precursor parece no cambiar durante el tiempo de irradiación visualmente. Las Ag-NPs modifican continuamente su tamaño y estado superficial ya que absorben la energía de la luz incidente. Como se observa en la Fig. 9 existen desdoblamientos (de $t = 5$ a $t = 6$) e inversiones (de $t = 2$ a $t = 5$) de las bandas de absorción. Dichos cambios son de naturaleza "reversible" (al menos dentro del tiempo probado) ya que las bandas del espectro de absorción regresan casi periódicamente a posiciones similares cuando alcanzan un estado metaestable. Después de 7 h bajo radiación (de las 12 aplicadas) los espectros de absorción ya no muestran variaciones significativas.

C. Sedimentación de las muestras coloidales mediante la aplicación de electrólisis, luz solar y calor

En la Fig. 10 se distingue la transformación de los espectros de absorción del coloide precursor después de exponerse a la irradiación solar. Se observa una nueva banda de absorción en la región infrarroja que alcanza un máximo de 765 nm, pero la banda típica centrada en 406 nm todavía está presente (lo que indica que los grupos de plata de tamaño mediano aún permanecen en suspensión). Creemos que el pico a 765 nm se debe a la presencia de cúmulos grandes con forma prismática. Esta banda de absorción también se detecta en la Ref. (Huang et al., 2010) su SPR no cae en el rango visible (la muestra parece translúcida debido a esparcimiento de la luz).

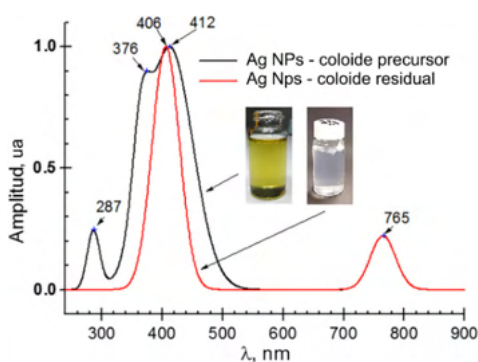


Fig. 10. Cambios en el espectro de absorción entre el coloide precursor y después de situarlo bajo luz solar.

La Fig. 11 muestra la variación de los espectros de absorción de la muestra NP26 durante una serie de pruebas que comienzan con la electrólisis seguida de la irradiación con luz solar (1), el calentamiento mediante placa caliente y la irradiación nuevamente con luz solar. (2) Picos de las bandas, donde la intensidad se reduce casi exponencialmente. La exposición a la luz solar produce los cambios de intensidad más significativos. Incluso cuando el último espectro de absorción de NP26 en la Fig. 11 corresponde a una muestra casi incolora donde se observan cúmulos de tamaño mediano dentro del medio acuoso. Los cúmulos de plata grandes se encuentran como sedimento en el fondo de los frascos. En las Figs. 10 y 11 confirman que las Ag-NPs suspendidas tanto en la muestra NP26 como en el coloide precursor no se precipitaron por completo por la aplicación de luz solar (por lo tanto, queda claro que la remediación no es posible sin aplicar productos químicos o filtros adicionales). Esto plantea un riesgo para el medio ambiente que debe tenerse en cuenta cada vez que se considere la implementación de NPs metálicas en una aplicación particular.

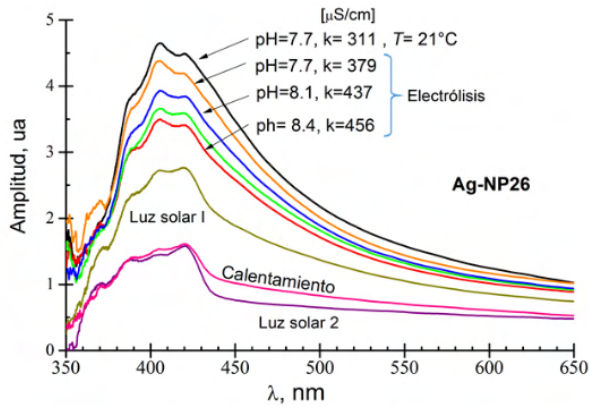


Fig. 11. Cambios en el espectro de absorción del coloide de plata NP26. muestra sometida a pruebas de electrólisis, luz solar y calentamiento.

4 | DISCUSIÓN

Las NP's de metales nobles tienen propiedades ópticas, electrónicas y catalíticas que dependen del tamaño, forma y el entorno circundante. Estas características se indican en su SPR localizado (colores). La caracterización de los coloides ofrece la posibilidad de comprender sus interacciones y cómo se ensamblan. Aunque en el pasado se han estudiado los coloides de colores ajustables, el desafío sigue siendo diseñar y ajustar sus propiedades ópticas. Por lo tanto, nuestra idea es seguir la transformación dinámica del coloide precursor fresco a un estado coloidal metaestable mediante espectroscopia óptica y técnicas electroquímicas, como se muestra en las Figs. 7–9. El voltamograma cíclico útil identifica y caracteriza Ag-NPs en medios acuosos siguiendo su pico de reducción de los iones Ag^+ adsorbidos en la superficie de la partícula. El pico de oxidación de los iones Ag^+ reducidos, también dependen del tamaño de las NPs. Sin embargo, en este último caso, los factores externos, como el estado de la superficie del electrodo de trabajo influir significativamente en la posición del pico. Por lo tanto, el pico de oxidación, en nuestro caso, no pudo utilizarse de forma fiable para caracterizar las muestras. Las pruebas electroquímicas se complementan con medidas del potencial en circuito abierto. Sin embargo, dado que dicho potencial es una función del entorno de las NPs, se debe realizar una calibración adecuada para cada medio. Algunas de las muestras coloidales no muestran una gran estabilidad ya que sufren cambios incluso durante el almacenamiento en condiciones de oscuridad. Lo más probable se deba a las concentraciones específicas de los reactivos utilizados para su preparación. De hecho, los coloides estables se mezcla citrato de sodio alto con un contenido de borohidruro de sodio bajo. En términos de remediación ambiental, esto sugiere la posibilidad de usar químicos particulares para acelerar el crecimiento y la agregación de Ag-NPs para favorecer la sedimentación. Las pruebas de estabilidad muestran que la luz solar, el calor e incluso la electrólisis sedimentan las Ag-NPs en medios

acuosos. La luz solar tiene el efecto mas fuerte de los tres y podría usarse en espacios abiertos. Por otro lado, la electrólisis podría llevarse a cabo en regiones menos accesibles, como el interior de las plantas mediante la inserción de electrodos delgados. En cuanto al coloide precursor encontramos que el crecimiento de las NPs no es continuo en el tiempo. En cambio, las NPs crecen siguiendo un patrón oscilatorio de cierta reversibilidad hasta alcanzar su tamaño final. Este fenómeno se puede aplicar para optimizar el tiempo de producción de las NPs metálicas y también para su remediación.

5 | CONCLUSIONES

Las técnicas estándar de análisis espectroscópico y microscópico son difíciles de implementar para el estudio y la remediación de NPs metálicas, dentro de entornos industriales o directamente en el sitio contaminado. Las técnicas electroquímicas, por otro lado, dependiendo de una instrumentación relativamente simple y compacta, son buenas candidatas para realizar el trabajo. La voltamperometría cíclica se puede aplicar in situ para detectar y caracterizar en términos de tamaño de partícula las Ag-NPs como contaminantes en medios acuosos. La posición del primer pico de reducción en el voltamograma está relacionada con el tamaño de partícula promedio del coloide. Como este último también depende de la posición del pico principal en el espectro de absorción de la muestra, la respuesta electroquímica se acopla a la señal óptica.

Se encuentra que el coloide precursor de plata alcanza la forma coloidal estable a través de fluctuaciones reversibles de su tamaño y estado superficial (al menos durante el período inicial de crecimiento de los núcleos). La división e inversión de las bandas de absorción de la muestra apunta a la necesidad de revisar cuidadosamente los mecanismos propuestos de crecimiento de núcleos fotoinducidos. Las observaciones también son de importancia para el diseño y puesta a punto de las propiedades ópticos los coloides. En términos de remediación ambiental, la electrólisis volumetrica se puede utilizar como complemento a otras fuentes para el tratamiento de las NPs metálicas.

En este trabajo, las siete muestras coloidales seleccionadas y el coloidal precursor muestran una buena resistencia a la sedimentación en condiciones de oscuridad. Sin embargo, la aplicación de luz solar y electrólisis proporcionan un buen grado de desestabilización de los coloides. Desafortunadamente, las pruebas realizadas en el presente trabajo no precipitan completamente las partículas coloidales del medio acuoso. Quedaron NPs finas y cúmulos de tamaño mediano. El primero supone un mayor riesgo medioambiental que el segundo, y este se puede eliminar fácilmente con filtros.

AGRADECIMIENTOS

Dirección General de Asuntos del Personal Académico, Universidad Nacional Autónoma de México (IN 101721). Reconocimiento. Agradecemos al Laboratorio GRECCO

y al Lab. de Pruebas No Destructivas ambas em PUNTA-UNAM por el uso de sus equipos.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

REFERENCIAS

Abbas, M.; Naeem, N.; Iftikhar, H.; Latif, U. **Synthesis, characterization and antimicrobial properties of silver nanocomposites**, in Silver Nanoparticles, K. Maaz, eds. (IntechOpen), Chap. 4, 2018.

Bittar, D.; Catelani, T.; Nigoghossian, K.; da Silva Barud H.; Ribeiro, S. J. L.; Pezza, L.; Redigolo, H. **Optimized synthesis of silver nanoparticles by factorial design with application for the determination of melamine in milk**, Anal. Lett. 50, 829–854, 2017.

Bonanni, A.; Pumera, M.; Miyahara, Y. **Influence of gold nanoparticle size (2–50 nm) upon its electrochemical behavior: an electrochemical impedance spectroscopic and voltammetric study**, Phys. Chem. Chem. Phys. 13, 4980–4986, 2011.

C.-N.; Ho, C.-M.; Chen, R.; He, Q.-Y.; Yu, W.-Y.; Sun, H.; Tam, P. K.-H.; Chiu, J.-F.; Che, C.-M. **Silver nanoparticles: partial oxidation and antibacterial activities**, J. Biol. Inorg. Chem. 12, 527–534, 2007.

Chouhan, N. **Synthesis, characterization and applications. Silver Nanoparticles**, K. Maaz, eds. (IntechOpen,), Chap. 2, 2018.

Giovanni, M.; Pumera, M. **Molybdenum metallic nanoparticle detection via differential pulse voltammetry**, Electrochem. Commun. 13, 203–204, 2011.

Gong, H. M.; Zhou, L.; Lu, X. R.; Xiao, S.; Liu, S. D.; Wang, Q. Q. **Illuminating dark plasmons of silver nanoantenna rings to enhance exciton-plasmon interactions**, Adv. Funct. Mater. 19, 298–303, 2009.

Gorham, J. M.; MacCuspie, R. I.; Klein, K. L.; Fairbrother, D. H.; Holbrook, R. D. **UV-induced photochemical transformations of citratecapped silver nanoparticle suspensions**, J. Nanopart. Res. 14, 1139, 2012.

Huang, T.; Xu, X.-H. N. **Synthesis and characterization of tunable rainbow colored colloidal silver nanoparticles using single nanoparticle plasmonic microscopy and spectroscopy**, J. Mater. Chem. 20, 9867–9876, 2010.

Ivanova, O. S.; Zamborini, F. P. **Size-dependent electrochemical oxidation of silver nanoparticles**. J. Am. Chem. Soc. 132, 70–72, 2010.

Kreibig, U.; Vollmer M. **Optical Properties of Metal Clusters**, Springer, 1996.

Krut'akov, Y. A.; Kudrinskiy, A. A.; Olenin, A. Y.; Lisichkin, G. V. **Synthesis and properties of silver nanoparticles: advances and prospects**, Russ. Chem. Rev. 77, 233–257, 2008.

Maillard, M.; Huang, P.; Brus, L. Silver nanodisk growth by surface plasmon enhanced photoreduction of adsorbed [Ag⁺], *Nano Lett.* 3, 1611–1615, 2003.

Métraus, G. S.; Mirkin, C. A. **Rapid thermal synthesis of silver nanoprisms with chemically tailorable thickness**, *Adv. Mater.* 17, 2–415, 2005.

Navarrete, M.; Mayen-Mondragon, R.; Sato, R.; Mejía, E. V.; Aguirre-Aguirre, D. **Stability analysis of silver nanoparticle suspensions by cyclic voltammetry**, *Applied Optics* 59(13), D104-D109, 2020.

Panda, S. K.; Chakraborti, S.; Basu, R. N. **Size and shape dependences of the colloidal silver nanoparticles on the light sources in photo-mediated citrate reduction technique**, *Bull. Mater. Sci.* 41 (90), 1–7, 2018.

Qing, W.; Wang, Y.; Li, X.; Lu, M.; Liu, X. **Facile synthesis of mPEGluteolin-cytotoxicity to neuroblastoma SK-N-SH cells**, *Colloids Surf. B* 160, 390–394, 2017.

Rees, N. V.; Zhou, Y.-G.; Compton, R. G. **The aggregation of silver nanoparticles in aqueous solution investigated via anodic particle via coulometry**, *Chem. Phys. Chem.* 12, 1645–1647, 2011.

Sato-Berrú, R. Y.; Vázquez-Olmos, A. R.; Mejía-Uriarte E. V.; Meta-Zamora, M. E.; Solís-Gomez, A.; Paraguay-Delgado, P.; Saniger, J. M. **Synthesis of silver colloids with a homemade light source**. *J. Cluster Sci.* 29, 719–725, 2018.

Tang, B.; Sun L.; Li, J.; Zhang, M.; Wang, X. **Sunlight-driven synthesis of anisotropic silver nanoparticles**, *Chem. Eng. J.* 260, 99–106, 2015.

Tang, L.; Li X.; Cammarata, R. C.; Friesen, C.; Sieradzki, K. **Electrochemical stability of elemental metal nanoparticles**, *J. Am. Chem. Soc.* 132, 11722–11726, 2010.

ÍNDICE REMISSIVO

A

- Ações antrópicas 56
- Aços Laminados do Pará (ALPA) 62
- Actividad catalítica 41, 43
- Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) 33, 34
- Álgebra 1, 2, 3, 28, 29
- Algoritmo 11, 16, 18, 19, 20, 21, 22
- Aprendizaje 12, 16, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 31
- Árbol 11, 16, 18, 19, 20, 21, 22
- Área de Preservação Permanente (APP's) 55, 56, 61
- Aritmética 1, 2
- Autorregulación 25, 26, 27, 28, 29

B

- Big Data 11, 12, 14, 16, 17, 23, 24

C

- Coloide 40, 42, 43, 45, 47, 49, 50, 51, 52

D

- Data Science 11

E

- Educación escolar 27, 32
- Electroquímica 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 52
- Equações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
- Erodibilidade 59
- Espectroscopia UV-vis-IR 40
- Estudiantes 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32

G

- Geoprocessamento 38, 55, 57, 58, 66
- Guatemala 11, 12, 16, 17, 22, 24

H

- Herramientas estadísticas 14

I

Impactos ambientales 56

Industria 4.0 11, 12

Irradiación 40, 44, 45, 46, 49, 50

L

Lluvia 12, 17, 18

Luz solar 40, 42, 43, 44, 45, 50, 51, 52

M

Machine Learning (ML) 11, 12, 22, 23, 24

Microprocesadores 12

Modelo de Zimmerman 25, 29

Modelo pedagógico 1

N

Nanopartículas (NPs) 40, 41

Nubosidad 13

O

Ortomosaico 33, 35, 39

P

Plano diretor 55, 56, 64, 66

Potencial eléctrico 44

Potenciostato 44

Presión atmosférica 17

R

Radiación 13, 22, 42, 49, 68

Resonancia del Plasmon Superficial (SPR) 40

Respuesta electroquímica 40, 43, 44, 45, 52

Revolución industrial 12

S

Software 14, 67

T

Temperatura 12, 17, 18, 19, 20, 22, 42

V

Variables meteorológicas 11, 14, 21

Velocidad del viento 12

Voltamograma 40, 44, 45, 46, 47, 49, 51, 52

Voltamperometría cíclica 40, 43, 52

CIENCIAS EXACTAS

Y DE LA TIERRA:

Observación, formulación y predicción

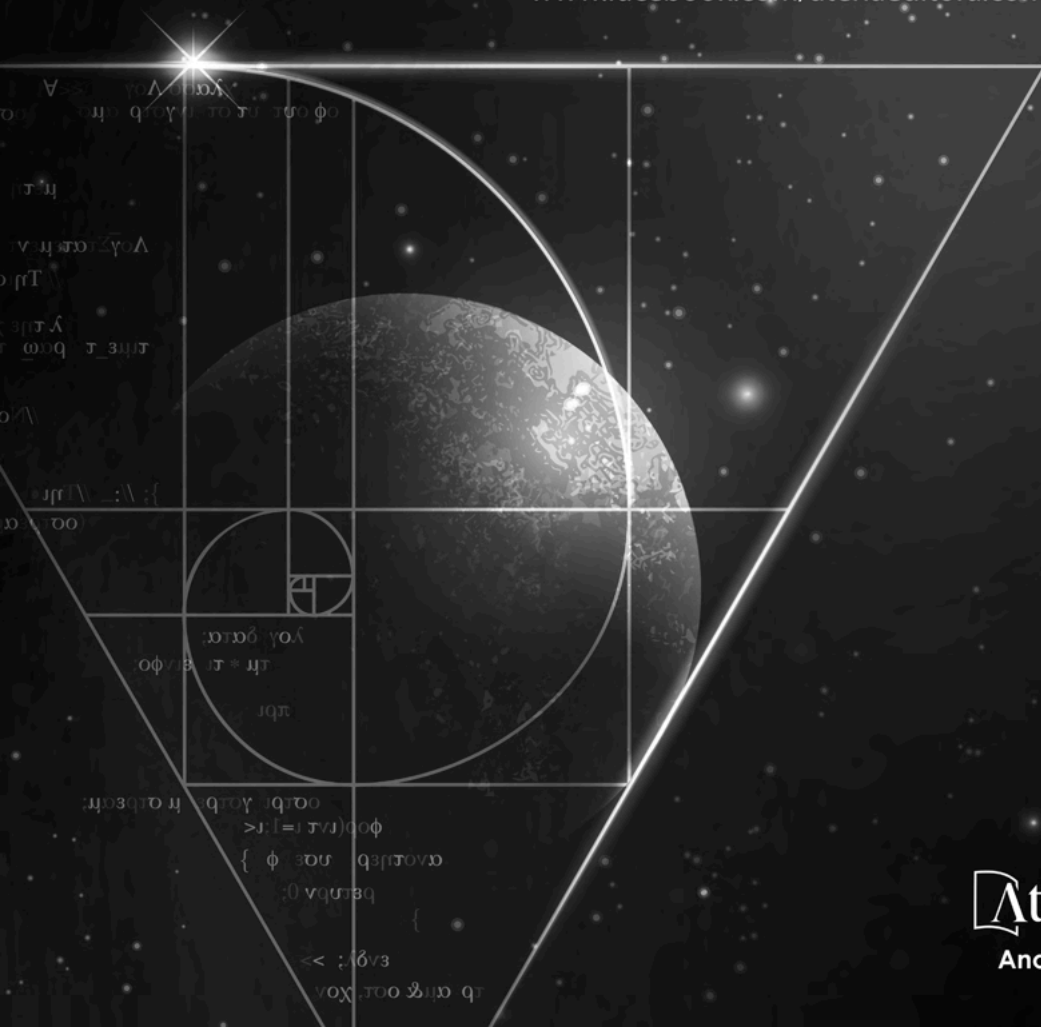
4

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 



CIENCIAS EXACTAS

Y DE LA TIERRA:

Observación, formulación y predicción

4

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

