

R. Alejo, F. J. Illescas, F. del Razo



Francisco Javier Illescas Martínez

Aportaciones recientes a la ciencia de frontera y a la ingeniería: un espacio para la divulgación científica

Aportaciones recientes a la ciencia de frontera y a la ingeniería: Un espacio para la divulgación científica

Segundo Congreso Internacional de Divulgación de la Ciencia y la Ingeniería, 2023



Roberto Alejo Eleuterio
F. Javier Illescas Martínez
Federico del Razo López

Aportaciones recientes a la ciencia de frontera y a la ingeniería: un espacio para la divulgación científica

Segundo Congreso Internacional de Divulgación de la Ciencia y la Ingeniería,

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca

Metepec, Estado de México, octubre 25-27, 2023

Aportaciones recientes a la ciencia de frontera y a la ingeniería: un espacio para la divulgación científica

Segundo Congreso Internacional de Divulgación de la Ciencia y la Ingeniería,

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca

Metepec, Estado de México, octubre 25-27, 2023

EDITORES

Roberto Alejo

Tecnológico Nacional de México, IT Toluca
Metepec, Estado de México, México

Javier Illescas

Tecnológico Nacional de México, IT Toluca
Metepec, Estado de México, México

Federico del Razo

Tecnológico Nacional de México, Instituto
Tecnológico de Toluca
Metepec, Estado de México, México



Guadalajara, México, 2024

**Aportaciones recientes a la ciencia de frontera y a la ingeniería:
un espacio para la divulgación científica**

Segundo Congreso Internacional de Divulgación de la Ciencia y la Ingeniería,
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca
 Metepec, Estado de México, octubre 25-27, 2023

Los editores de este libro han hecho su mejor esfuerzo en su preparación; sin embargo, no están autorizados para dar una garantía, expresa o implícita, con respecto al material contenido en este documento, ni por cualquier error u omisión que pudiera haberse cometido. El editor siempre mantendrá una postura neutral con respecto a los posibles reclamos jurisdiccionales con respecto a la información publicada y a las afiliaciones institucionales de los autores y los trabajos publicados. La información y conclusiones que aquí se reproducen representan exclusivamente la opinión de los autores respectivos. Los autores tienen toda la responsabilidad por la originalidad, la exactitud del contenido, los resultados divulgados y las opiniones expresadas.

Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método, electrónico o mecánico (INCLUYENDO EL FOTOCOPIADO, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información), sin consentimiento por escrito de los autores.

Derechos reservados conforme a la ley:

©**Roberto Alejo Eleuterio**

©**Francisco Javier Illescas Martínez**

©**Federico del Razo López**

Primera Edición. 2024

ISBN:978-607-8995-78-3

Impreso en México / *Printed in Mexico.*

Índice

Capítulo 1

APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....13

La inteligencia artificial, un apoyo en la recuperación del accidente cerebrovascular	15
Sistema Mínimo de Cultivo Aeropónico basado en Tecnologías IoT.....	21
Generación de música mediante inteligencia artificial	25
¿Cómo saber si hay una relación entre a y b?	31
Diseño y Construcción de un Entrenador Mioeléctrico para Prótesis de Mano	37
Detección de violencia de género en video usando redes neuronales convolucionales.....	43
Aplicación de redes neuronales artificiales para predecir el oxígeno disuelto en cuerpos de agua en el Estado de México.....	47
Aplicación de matriz de disimilitud para definir el número de grupos (k) del algoritmo de inteligencia artificial k-medias	53

Capítulo 2

MEDIO AMBIENTE Y TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.....59

Identificación de oportunidades en la gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) en el Estado de México utilizanco Ciencia de Datos.....	61
Centros de acopio para residuos sólidos urbanos valorizables en el Estado de México.....	65
Emisiones en 2022 de CO ₂ e del Relleno Sanitario de Tenango del Valle, Estado de México.....	69
Presencia de microplásticos en el río de Chalma.....	75
Contaminación por microplásticos y sus aditivos en el ambiente	81
Situación de los sitios de disposición final de residuos en México	87

Capítulo 3

MATERIALES Y ENERGÍA.....93

Introducción a los sistemas de transmisión de Corriente Directa de Alto Voltaje	95
Simulación del impacto de un rayo en una línea de transmisión utilizando ATPDraw	101
Producción de voltaje y amperaje en una celda bioelectroquímica acoplada a un sistema hidropónico	107
Aplicaciones de Polianilina: Un Polímero Más que Prometedor.....	113

Capítulo 4

QUÍMICA Y NANOTECNOLOGÍA 119

Entendiendo la biosíntesis de nanopartículas con Cheems.....	121
Un ácaro que habita en las pestañas: Demodex spp en diabéticos.....	127
Una visión sobre la Toxoplasmosis en población asintomática.....	133
Extracción de un colorante natural a base de remolacha como una alternativa en la industria textil.....	139
El uso del carbón con nanopartículas de calcio en la adsorción de Aflatoxina B1	145
Determinación de antraceno generado por colillas de cigarro en los suelos del Instituto Tecnológico de Toluca.....	149
Identificación electroquímica de la interacción lectina-carbohidrato en nanotubos de carbono funcionalizados con la lectina de Solanum tuberosum	155

Reducción de colorantes disueltos en agua usando materiales a base de quitosano.....	161
Película de polipirrol obtenida electroquímicamente dopada con yodo mediante una descarga de plasma y su caracterización.....	167
La adsorción como una opción a la contaminación de colorantes en el agua.....	173
Inestabilidades en la polimerización frontal	179
Simulación Molecular del quitosano y nanopartículas de óxido de plata y su validación por difracción de rayos X	185
Influencia de las condiciones del medio y del grado de entrecruzamiento del material adsorbente en la remoción de un colorante ácido con película de quitosano.....	191
Determinación del contenido de polifenoles y flavonoides totales en plantas de uso medicinal.....	197
Dendrímeros funcionalizados con β -ciclodextrina: una novedosa herramienta para la carga y liberación controlada de fármacos	203
Uso de fresa y jengibre para la síntesis de nanomateriales antimicrobianos	209

Capítulo 5

INGENIERÍA Y SOCIEDAD215

Modelo de simulación de una biblioteca para la optimización en su proceso de servicio.....	217
La importancia de las operaciones unitarias en la vida cotidiana: Filtración, una fuente de vida.....	223
Logística 4.0 y tendencias tecnológicas: una revisión bibliográfica.....	227
Human Traction (HT)	233
Aula Maker del Instituto Tecnológico de Milpa Alta.....	239
Hongos Micorrízicos Arbusculares: los Sanadores Ancestrales del Suelo.....	245
Guardianes lluviosos: abrazando el agua bajo la tierra.....	253
Dientes manchados: ¿no es falta de higiene! Adsorción, una solución.....	257

Prefacio

En esta segunda edición, el libro ha sido elaborado para recopilar las contribuciones más destacadas del Segundo Congreso Internacional de Divulgación de la Ciencia y la Ingeniería, organizado por el Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca. Su objetivo es difundir los temas más relevantes en diversas áreas de la ciencia y la ingeniería, junto con algunas de sus aplicaciones. Cabe destacar que este segundo congreso es una continuación del esfuerzo realizado por el Instituto Tecnológico de Toluca para ofrecer un espacio dedicado a difundir investigaciones. Por ello, esperamos que este libro sirva como un foro para que la comunidad científica y tecnológica pueda compartir ideas e intereses comunes.

Este libro está dividido en cinco capítulos: a) Aplicaciones novedosas de la inteligencia artificial, b) Medio ambiente y tratamiento de los residuos sólidos, c) Materiales y energía, d) Química y nanotecnología, y e) Ingeniería y sociedad. En el primer capítulo se presentan trabajos relevantes en el campo de la inteligencia artificial, disciplina que, en México, está jugando un papel crucial en la modernización de sectores estratégicos y tiene el potencial de generar beneficios significativos áreas como la salud, medio ambiente o cultura, por mencionar algunas. La segunda parte incluye estudios sobre el tratamiento de residuos sólidos, un crucial en la reducción de la contaminación, la conservación de los recursos naturales y la protección del medio ambiente. En la tercera parte, el libro presenta trabajos realizados en los sistemas de transmisión y generación de energía eléctrica. El cuarto capítulo, referente a la química y nanotecnología, presenta algunos de los avances más significativos en el área de los biopolímeros, extracción, reducción y adsorción de colorantes y nanotubos de carbono, entre otros. Finalmente, el quinto y último capítulo se dedica a mostrar algunos avances de la ingeniería en la sociedad.

No omitimos mencionar que el trabajo de edición de este libro es el resultado de la colaboración de los miembros de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Toluca, así como de otras Instituciones de Educación Superior, Universidades y Centros de Investigación, quienes participaron, ya sea en el proceso de evaluación y revisión, o como autores o miembros del comité editorial, dedicando su valioso tiempo para contribuir a este trabajo de calidad.

Por último, agradecemos al Tecnológico Nacional de México y de manera especial al otrora director del Instituto Tecnológico de Toluca, Ing. Hugo Ernesto Cuéllar Carreón, por su invaluable apoyo para la realización y organización de este evento, así como al otrora Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación, Dr. José Luis García Rivas, y a todos los profesores de los programas académicos de posgrado, los de Ciencias de la Ingeniería y Ciencias Ambientales por su apoyo invaluable durante el desarrollo del evento y la realización de este libro, producto del Segundo Congreso Internacional de Divulgación de la Ciencia y la Ingeniería, TecNM/ITToluca.

Comité Organizador

Instituto Tecnológico de Toluca

Daniel Villanueva Vásquez
Director del Instituto Tecnológico de Toluca

Yolanda Hernández Tamayo
Subdirectora de Planeación y Vinculación

Ana Luisa Zenteno Bonola
Subdirectora de Servicios Administrativos

Hugo Romero Montoya
Subdirector Académico

Nelson García García
Jefe de la División de Estudios Profesionales

Francisco Javier Illescas Martínez
Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación

Consejo Editorial

Roberto Alejo Eleuterio Tecnológico
Nacional de México, IT Toluca, IT Toluca, México.

Francisco Javier Illescas Martínez,
Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, IT Toluca, México.

Federico del Razo López,
Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, IT Toluca, México.

Nayely Torres Gómez,
Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, IT Toluca, México.

José Luis García Rivas,
Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, IT Toluca, México.

Octavio Villegas Camacho,
Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, IT Toluca, México.

Comité Organizador Local

Itzel María Abundez Barrera
Guillermo Carbajal Franco
María del Carmen Carreño de León
Federico del Razo López
Isaías de la Rosa Gómez
María del Carmen Díaz Nava
Beatriz García Gaitán
José Luis García Rivas
Genoveva García Rosales
María del Consuelo Hernández Berriel
Celso Hernández Tenorio
Francisco Javier Illescas Martínez
María de la Luz Jiménez Núñez
Ma. Guadalupe Macedo Miranda
María Sonia Mireya Martínez Gallegos
Hilda Moreno Saavedra
Claudia Rosario Muro Urista
Juan Horacio Pacheco Sánchez
Eréndira Rendón Lara
Jorge Sánchez Jaime
Nayely Torres Gómez
Rosa Elvira Zavala Arce

Comité Técnico Científico

José Juan García Sánchez	Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán (TESJo), México.
Leopoldo Gil Antonio	Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán (TESJo), México.
Adriana Reyes Nava	Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán (TESJo), México.
Juan Alberto Antonio Velázquez	Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán (TESJo), México.
Everardo Efrén Granda Gutiérrez	Universidad Autónoma del Estado de México, CU Atlacomulco, México.
Allan Antonio Flores Fuentes	Universidad Autónoma del Estado de México, CU Atlacomulco, México.
Vicente García Jiménez	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México.
América Ávila Hernández	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Beatriz García Gaitán	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Beatriz Magdalena Millán Olvera	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Carmen Margarita Montiel Leyva	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Celso Hernández Tenorio	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Citlalih Yollohtli Alejandra Gutiérrez Estrada	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Claudia Rosario Muro Urista	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Claudia Salinas Hernández	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Daniel Hernández González	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Enrique Estrada Bastida	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Eréndira Rendón Lara	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Erick Rodrigo Guzmán Gorrochotegui	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Francisco Javier Illescas Martínez	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Federico del Razo López	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Fredy Cuéllar Robles	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Guillermo Carbajal Franco	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Grisel Miranda Piña	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Hilda Moreno Saavedra	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Hilda Patricia Medina Caballero	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Itzel María Abundez Barrera	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Jorge Sánchez Jaime	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
José Ángel Sanjurjo García	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Juan Carlos Contreras Ruiz	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Juan Horacio Pacheco Sánchez	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.

Laura Verónica Díaz Archundia	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Luis Alberto Desales Guzmán	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Luis Antonio Estrada Manuel	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Luz del Carmen Martínez Contreras	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Ma. Guadalupe Macedo Miranda	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Manuel González de la Rosa	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Manuela Elvia Quiroz Velázquez	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
María Claudia Delgado Hernández	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
María de la Luz Jiménez Núñez	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
María del Carmen Carreño de León	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
María del Carmen Díaz Nava	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
María del Consuelo Hernández Berriel	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
María del Consuelo Mañón Salas	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
María Sonia Mireya Martínez Gallegos	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Maribel Verónica Albiter López	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Marivel Ramírez Hernández	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Mireya González Colín	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Nayely Torres Gómez	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Nicolás Flores Álamo	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Norberto Segura Beltrán	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Pedro Ávila Pérez	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Pedro Ibarra Escutia	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Roberto Alejo Eleuterio	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Rosa Elvira Zavala Arce	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Sergio Díaz Zagal	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Vicente Vallejo Puerta	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.
Víctor Manuel González Bárcenas	Tecnológico Nacional de México, IT Toluca, México.

Patrocinador Institucional

CIDIC-ITTTol 2023 fue patrocinado por el Tecnológico Nacional de México.

APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial, un apoyo en la recuperación del accidente cerebrovascular

Ambros Antemate, Jorge Fernando¹, Beristain Colorado, María del Pilar¹, Argueta Figueroa, Liliana^{2,3}, Vargas Treviño, Marciano⁴, Torres Rosas, Rafael⁵

¹ Facultad de Medicina, Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca. Ex Hacienda de Aguilera s/n, Calz. San Felipe del Agua, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.

² Investigadoras e investigadores por México (IxM), Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Av. Insurgentes Sur 1582, Colonia Crédito Constructor, Alcaldía Benito Juárez, Ciudad de México, México.

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca. Av. Tecnológico s/n, Colonia Agrícola Bellavista, Metepec, Estado de México, México.

⁴ Facultad de Sistemas Biológicos e Innovación Tecnológica, Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, México.

⁵ Centro de Estudios de la Salud y la Enfermedad, División de Posgrado, Facultad de Odontología, Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca. Av. Universidad s/n, Ex-Hacienda de Cinco Señores, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.
rtorres.cat@uabjo.mx

Resumen. Evaluar la función motora en pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular es de suma importancia, ya que, dependiendo del resultado, el fisioterapeuta le podrá proporcionar el ejercicio más adecuado para una pronta recuperación en la movilidad, por lo que es imprescindible que esta medición se obtenga lo más exacta y objetiva posible utilizando una prueba de evaluación motora. Para apoyar lo anterior, existen algunas técnicas de inteligencia artificial que son útiles para automatizar y cuantificar este tipo de tareas. El presente trabajo está basado en una revisión sistemática en donde se analizaron investigaciones que emplearon algoritmos de aprendizaje automático para medir la función motora del miembro superior. En estos estudios se concluye que los algoritmos de aprendizaje automático pueden realizar un diagnóstico con una exactitud similar a las pruebas clínicas estándar, lo que puede ayudar a los terapeutas y a los pacientes a tener una medición más objetiva de la evolución de los movimientos del miembro superior.

Palabras clave: Accidente cerebrovascular, inteligencia artificial, aprendizaje automático.

1. Introducción

Cada año surgen aproximadamente 15 millones de casos de accidente cerebrovascular en el mundo; de este porcentaje, se estima que 5 millones presentan una discapacidad severa, como parálisis de la mitad de su cuerpo, una extremidad o parálisis facial [1]. Para mejorar la calidad de vida de las personas que han sufrido este accidente, se requiere llevar un tratamiento que consiste en realizar ejercicios de manera repetitiva en la zona afectada, pero antes de iniciar el tratamiento es necesario que el personal médico obtenga el grado de movilidad de la persona, utilizando para esto una prueba de evaluación motora. Cada una de estas pruebas consiste en una serie de tareas que debe realizar el paciente en un tiempo establecido; posteriormente se evalúa con medidas basadas en la observación del terapeuta. Sin embargo, este tipo de mediciones se basa mucho en la experiencia y entrenamiento que tenga el terapeuta, por lo que en ocasiones se pueden obtener resultados inexactos [2]. Para apoyar lo anterior, se han desarrollado nuevas formas para analizar el movimiento de las personas y obtener de esta manera mediciones objetivas en las extremidades de personas afectadas por el accidente cerebrovascular. Este trabajo presenta en forma sintetizada y en un lenguaje accesible al público en general los resultados de la revisión sistemática [3]. El objetivo de esta publicación es describir los avances que existen en el área de aprendizaje automático para medir la función motora en pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular y la correlación de estos avances con los resultados obtenidos con el terapeuta.

2. Fundamentos teóricos

Accidente cerebrovascular (AC)

También llamado ictus, ocurre cuando el flujo de sangre en una parte del cerebro se detiene y no se suministra oxígeno, lo que ocasiona que partes del cerebro se dañen o mueran. Este accidente puede provocar parálisis en una o varias extremidades del cuerpo, daño cerebral duradero e incluso la muerte. Es una de las principales causas de mortalidad y discapacidad en adultos [4]. Para la recuperación de la movilidad de la parte afectada se debe seguir un proceso de rehabilitación, con el objetivo de que las personas puedan recuperar su independencia en las actividades cotidianas [5].

Función motora

La Asociación Americana de Fisioterapia define la función motora como la capacidad del mantenimiento, modificación y el control hábil y eficiente de posturas y patrones de movimiento voluntarios [6], es decir, la habilidad de controlar de forma eficiente la postura del cuerpo y los movimientos de forma voluntaria. Parte de la rehabilitación se enfoca en tratar la movilidad del miembro superior y miembro inferior. Para esto, es importante conocer el grado de discapacidad antes de iniciar la terapia, a través de una prueba de evaluación motora. Ejemplos de estas pruebas son Fugl Meyer assessment [7], Wolf Motor Function Test [8], entre otras.

Inteligencia artificial y aprendizaje automático

La inteligencia artificial es un área de la computación que engloba programas informáticos que son capaces de pensar y comportarse como los humanos lo harían [9]. El aprendizaje automático es un área de la inteligencia artificial que se refiere a introducir un conjunto de datos de entrada y aplicar un algoritmo para ayudar a la computadora a descubrir características o patrones recurrentes; entre más datos se introduzcan, el algoritmo aprende más y mejora el rendimiento. El aprendizaje automático se puede emplear para resolver problemas de agrupación, detección de objetos con características similares y hacer predicciones, entre otros[9]; la Figura 1 describe el funcionamiento del aprendizaje automático. Empleando el aprendizaje automático se pueden analizar

grandes conjuntos de datos empleando modelos predictivos para que los médicos puedan diagnosticar, predecir y tratar a sus pacientes con mayor confianza, además puede ayudar a reducir los errores de diagnóstico que en algunos casos son inevitables en la práctica clínica humana.

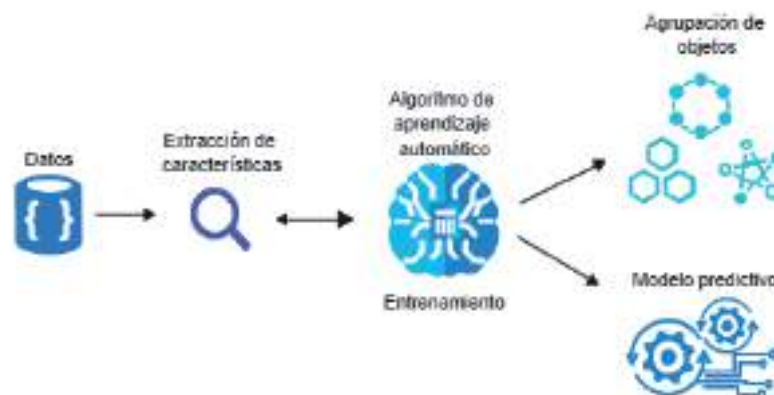


Figura 1. Funcionamiento del aprendizaje automático de la inteligencia artificial

Correlación

Es el grado de asociación entre dos variables (qué tanto afecta una a la otra o qué tanto se parecen)[10]. En el presente estudio se hace una correlación de la evaluación motora realizada con el terapeuta y la evaluación realizada por el algoritmo de aprendizaje automático, y se busca qué tan similar es la puntuación obtenida por la evaluación clínica y la puntuación obtenida por el algoritmo.

Riesgo de sesgo y calidad

El sesgo es un error sistemático o una desviación de la verdad en los resultados (un problema que nos puede llevar a ver lo que queremos y no ver lo que realmente es) [11]. Si una prueba tiene un alto riesgo de sesgo quiere decir que sus resultados no pueden ser del todo confiables. La aplicabilidad se refiere a verificar si el resultado o conclusión de un estudio es aplicable para un paciente o patología [12]. Por ejemplo, si un estudio hace una evaluación de la función motora empleando a deportistas jóvenes de alto rendimiento con lesiones deportivas, en las cuales los movimientos son bien definidos, la masa muscular es elevada y hay una buena condición física, este estudio no sería aplicable porque el objetivo es que se realice con personas con secuelas de accidente vascular cerebral con movimientos lentos, porque tanto la patología como el tipo de paciente son muy diferentes. La calidad es el resultado del análisis global del sesgo, aplicabilidad y consistencia en los resultados de los estudios (que todos o la mayoría de los estudios tengan conclusiones similares y no contradictorias) [12].

¿Cómo se obtiene la correlación entre la prueba de la función motora estándar e inteligencia artificial?

Como se muestra en la Figura 2, para hacer esta evaluación se realizan los siguientes pasos: (1) colocar al paciente los sensores de movimiento o dispositivo para capturar los movimientos que realice; (2) el terapeuta indica al paciente los ejercicios a realizar; (3) en el mismo momento, el terapeuta realiza la prueba de función motora y el dispositivo que captura el movimiento del paciente envía los datos para que sean procesados por la inteligencia artificial mediante el algoritmo de aprendizaje automático; (4) el terapeuta genera los resultados de la prueba; (5) el algoritmo de inteligencia artificial genera sus resultados; (6) se realiza la correlación entre los dos resultados para verificar la capacidad de la inteligencia artificial para realizar una evaluación adecuada.

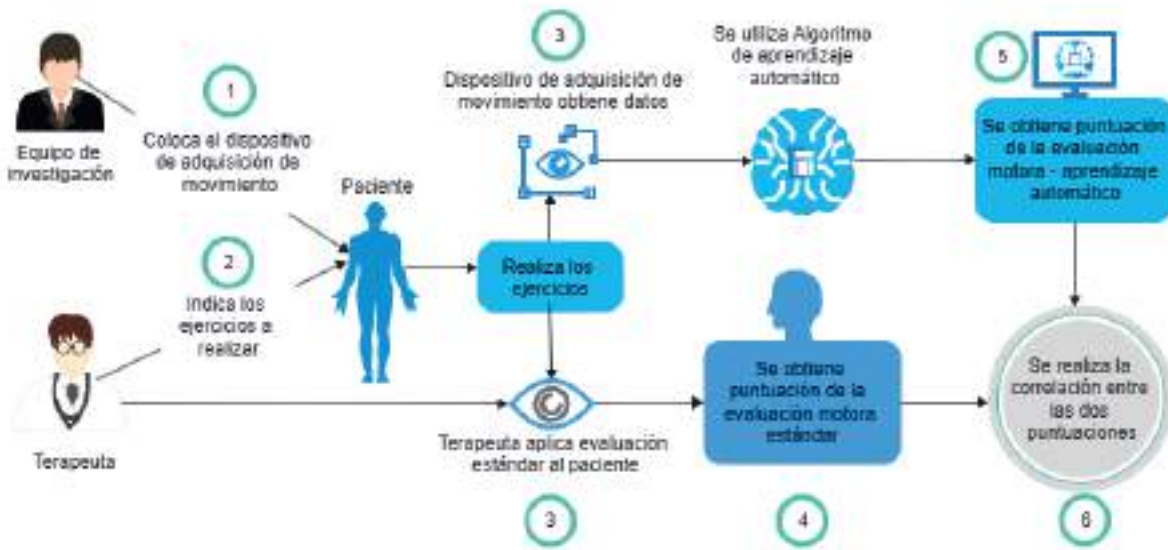


Figura 2. Procedimiento para obtener la correlación entre las dos evaluaciones

3. Desarrollo del trabajo

Se realizó la búsqueda y análisis de investigaciones relacionados con el uso de inteligencia artificial con algoritmos de aprendizaje automático para evaluar la función motora en personas que han sufrido un accidente cerebrovascular y que además sean comparados con una prueba de evaluación motora estándar. Las búsquedas se realizaron en diferentes bases de datos médicas, y se obtuvieron 8 investigaciones. Aunque presentaban riesgo de sesgo, los artículos obtuvieron puntuaciones cercanas a la prueba de evaluación motora estándar realizadas por el fisioterapeuta.

Durante la revisión de los artículos se observó que para detectar los movimientos de las personas se utilizaron diferentes sensores para que el algoritmo de inteligencia artificial pudiera realizar la evaluación de la función motora. En algunas investigaciones utilizaron dispositivos de fácil acceso como son los teléfonos móviles y sensores de movimiento, mientras que otros utilizaron equipos especializados como el electroencefalograma, lo que limitaría su uso a grandes unidades sanitarias.

Cabe destacar que estos procedimientos no sustituyen la labor del fisioterapeuta, sino que la complementan, porque pueden ser empleados en consultas a distancia para evaluar el seguimiento de pacientes que radican en zonas geográficas alejadas y cuyo traslado se dificulta por su discapacidad. Así también la prueba de evaluación motora automatizada puede incluirse en otros programas, por ejemplo, videojuegos, los cuales pueden ser enfocados al proceso de rehabilitación para accidente cerebrovascular, y de esta forma el paciente visualice sus avances y el terapeuta pueda evaluar de forma remota al paciente.

4. Conclusiones

En los estudios incluidos se observó que en la evaluación de la función motora del miembro superior presentan una fuerte correlación entre los resultados del algoritmo de aprendizaje automático de la inteligencia artificial y las pruebas clínicas estándar. Lo anterior es importante porque permite que la evaluación que se realiza con estos algoritmos tenga el potencial de apoyar a los terapeutas en la medición objetiva de la función motora. Lo que implica el desarrollo de aplicaciones para mejorar el diagnóstico, ya sea en las clínicas de rehabilitación o

inclusive en consultas a distancia. Finalmente, con una mejor evaluación motora se podrán asignar de forma eficiente los ejercicios más adecuados a los pacientes para su pronta recuperación.

5. Referencias

- [1] “World report on disability 2011.” Accessed: Jul. 16, 2023. [Online]. Available: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44575>
- [2] K. Tanaka and H. Yano, “Errors of visual judgement in precision measurements,” *Ergonomics*, vol. 27, no. 7, pp. 767–780, 1984, doi: 10.1080/00140138408963550.
- [3] J. F. Ambros-Antemate et al., “Accuracy of machine learning algorithms for the assessment of upper-limb motor impairments in patients with post-stroke hemiparesis: A systematic review and meta-analysis,” *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, vol. 31, no. 12, pp. 1309–1318, 2022, doi: 10.17219/ACEM/152596.
- [4] C. O. Johnson et al., “Global, regional, and national burden of stroke, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016,” *Lancet Neurol*, vol. 18, no. 5, p. 439, May 2019, doi: 10.1016/S1474-4422(19)30034-1.
- [5] C. M. Stinear, C. E. Lang, S. Zeiler, and W. D. Byblow, “Advances and challenges in stroke rehabilitation,” *Lancet Neurol*, vol. 19, no. 4, pp. 348–360, Apr. 2020, doi: 10.1016/S1474-4422(19)30415-6.
- [6] A. Hallemans, E. Verbeque, and P. Van de Walle, “Motor functions,” *Handb Clin Neurol*, vol. 173, pp. 157–170, Jan. 2020, doi: 10.1016/B978-0-444-64150-2.00015-0.
- [7] D. J. Gladstone, C. J. Danells, and S. E. Black, “The Fugl-Meyer Assessment of Motor Recovery after Stroke: A Critical Review of Its Measurement Properties,” *Neurorehabil Neural Repair*, vol. 16, no. 3, pp. 232–240, Sep. 2002, doi: 10.1177/154596802401105171.
- [8] S. L. Wolf, P. A. Catlin, M. Ellis, A. L. Archer, B. Morgan, and A. Piacentino, “Assessing Wolf Motor Function Test as Outcome Measure for Research in Patients After Stroke,” *Stroke*, vol. 32, no. 7, pp. 1635–1639, 2001, doi: 10.1161/01.STR.32.7.1635.
- [9] R. Gupta, D. Srivastava, M. Sahu, S. Tiwari, R. K. Ambasta, and P. Kumar, “Artificial intelligence to deep learning: machine intelligence approach for drug discovery,” *Mol Divers*, vol. 25, no. 3, p. 1315, Aug. 2021, doi: 10.1007/S11030-021-10217-3.
- [10] A. G. Asuero, A. Sayago, and A. G. González, “The Correlation Coefficient: An Overview,” *Crit Rev Anal Chem*, vol. 36, no. 1, pp. 41–59, Jan. 2007, doi: 10.1080/10408340500526766.
- [11] W. V. (editors) Higgins JPT, Thomas J, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page MJ, *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* version 6.2. 2021. [Online]. Available: www.training.cochrane.org/handbook
- [12] P. F. Whiting, “QUADAS-2: A Revised Tool for the Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies,” *Ann Intern Med*, vol. 155, no. 8, p. 529, Oct. 2011, doi: 10.7326/0003-4819-155-8-201110180-00009.

Sistema Mínimo de Cultivo Aeropónico basado en Tecnologías IoT

Hugo Antonio Méndez Guzmán¹, Juan José Martínez Nolasco¹, José Alfredo Padilla Medina¹

¹ Tecnológico Nacional de México en Celaya
d2003027@itcelaya.edu.mx

Resumen. Este trabajo presenta un sistema para cultivo aeropónico con conectividad al Internet de las Cosas (IoT), con el fin de facilitar la inspección remota de los parámetros que intervienen en el crecimiento del cultivo aeropónico. El sistema está conformado por una cámara de cultivo aeropónica, una app para captura y registro del crecimiento del cultivo, un sensor inteligente y Thingspeak como servidor. La app desarrollada es presentada y evaluada mostrando una sensibilidad y especificidad del 92 y 99% respectivamente. **Palabras clave:** Aeroponía, Sensores Inteligentes, Internet de las Cosas.

I. Introducción

La aeroponía es un método de cultivo sin suelo o sustrato de cultivo, donde la planta crece en el aire y sus raíces cuelgan dentro de un recipiente sellado en la oscuridad y se exponen abiertamente en el aire para obtener un rociado rico en nutrientes a través de atomizadores. El reto principal en este método es determinar los parámetros adecuados para el riego con el fin de evitar el estrés hídrico, sin embargo, las condiciones ambientales como temperatura, humedad y luminosidad en las que se desarrolla el cultivo también afectan sus condiciones de transpiración y por ende hídricas.

En la literatura se han propuesto monitorear humedad y temperatura del invernadero para controlar tiempos de fertirrigación [1]; controlar parámetros climáticos, fertirrigación y mezcla de la solución nutritiva [2]. Asimismo, se han desarrollado sensores para determinar el estrés hídrico del cultivo a través de intensidad lumínica y temperatura del cultivo [3]; monitorear temperatura de cultivo, humedad ambiente, luminosidad, así como déficit de presión de vapor (VDP) como indicador del estrés hídrico [4]. Para identificar y medir la evolución del cultivo se aplica procesamiento digital de imágenes en los modelos de color RGB, HSV, HSI, YCBCR y CIELAB [5] o en el infrarrojo cercano NIR [6].

El objetivo del trabajo es conjuntar los elementos fundamentales del monitoreo y control en una unidad mínima de procesamiento y aportar una herramienta de inspección visual a través de una app para registrar el crecimiento del cultivo.

2. Desarrollo del trabajo

El sistema propuesto está conformado por una cámara de cultivo aeropónica, una app para captura y registro del crecimiento del cultivo, un sensor inteligente y Thingspeak como servidor remoto (Figura 1).



Figura 1. Sistema mínimo de cultivo Aeropónico

En la cámara aeropónica se colocan plántulas, mientras el sensor inteligente se encarga del fertirriego, recirculación y monitoreo de nivel del depósito de solución nutriente, luminosidad, temperatura y humedad tanto en cultivo como en hoja y cámara de cultivo. El sensor inteligente está conformado por un microcontrolador ESP32-WROOM; pantalla HMI Nextion 480x320; sensores HTU21D, MLX90614, BH1750, DS18B20, HC-SR04; como actuador una bomba de diafragma accionada mediante un módulo de relevador; una pinza para medición de temperatura y humedad en la hoja del cultivo.

La app está registrada como “Aeroponics Processing” ante INDAUTOR México con folio 03-2022-110710590900-01. Permite procesar imágenes de cultivo en modelos de color HSV, RGB, CIELAB y YCbCr para distinción de cultivo y fondo. Facilita la medición de área foliar/radicular como ancho y largo del objetivo. Tanto el sensor inteligente como la app transmiten sus mediciones al servidor Thingspeak.

3. Resultados

El sistema propuesto se encuentra actualmente en funcionamiento en las instalaciones del Tecnológico Nacional de México en Celaya (Figura 2a).

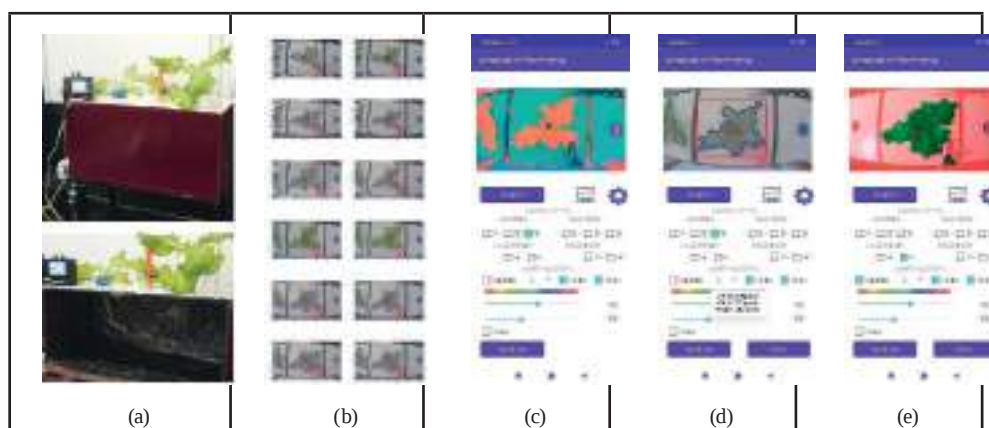


Figura 2. Sistema aeropónico propuesto

Para evaluar la app, fueron procesadas 126 imágenes de cultivo de lechuga (Figura 2b) tomadas de [4]. El 80% presentaron similitud en luminosidad y contraste, con una media de 143 y 165 respectivamente. Para evaluar el rendimiento de la segmentación, fueron procesadas en un rango de 38 a 56% en la capa V del modelo HSV (Figura 2c y 2d) y comparadas con su segmentación fina a través de VGG Image Annotator [7], calculando su sensibilidad (1) y especificidad (2).

Donde TP y FP son los píxeles de lechuga, correcta e incorrectamente identificados; TN y FN son los píxeles de fondo, correcta e incorrectamente identificados. Tras su evaluación se obtuvo una sensibilidad y especificidad de 92% y 99% respectivamente. Para casos particulares, en las imágenes restantes, el área foliar es extraída aplicando otros modelos y parámetros (Figura 2e).

4. Conclusiones

El sistema propuesto es una herramienta que proporciona información relevante para la investigación en el campo de la aeroponía. Como trabajo futuro se pretende la implementación de dos líneas de cultivo aeropónico bajo diferentes esquemas de riego, registrando su evolución con la app y sensor inteligente desarrollados.

5. Referencias

- [1] Lucero, L., Lucero, D., Ormeno-Mejia, E., Collaguazo, G.: Automated aeroponics vegetable growing system. Case study Lettuce. In: Proceedings of the IEEE ANDESCON, Quito, Ecuador, pp. 1–6 (2020)
- [2] Belista, F.C.L., Go, M.P.C., Luceñara, L.L., Policarpio, C.J.G., Tan, X.J.M., Baldovino, R.G.: A Smart Aeroponic Tailored for IoT Vertical Agriculture using Network Connected Modular Environmental Chambers. In: Proceedings of the 2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), Baguio City, Philippines, pp. 1–4 (2018)
- [3] Puengsungwan, S., Jirasereamornkul, K.: IoT Based Root Stress Detection for Lettuce Culture Using Infrared Leaf Temperature Sensor and Light Intensity Sensor. *Wireless Pers Commun* 115, pp. 3215–3233 (2020)
- [4] Méndez-Guzmán, H.A. et al.: IoT-Based Monitoring System Applied to Aeroponics Greenhouse. *Sensors*, vol. 22, no. 15, p. 5646 (2022)
- [5] Loresco, P. J. M., Valenzuela, I. C., Dadios, E. P.: Color Space Analysis Using KNN for Lettuce Crop Stages Identification in Smart Farm Setup. In: TENCON 2018–2018 IEEE Region 10 Conference, Jeju,

Korea (South), pp. 2040-2044 (2018)

- [6] Martinez-Nolasco, C.; Padilla-Medina, J.A.; Nolasco, J.J.M.; Guevara-Gonzalez, R.G.; Barranco-Gutiérrez, A.I.; Diaz-Carmona, J.J.: Non-Invasive Monitoring of the Thermal and Morphometric Characteristics of Lettuce Grown in an Aeroponic System through Multispectral Image System, Applied Sciences, vol. 12, no. 13, p. 6540 (2022)
- [7] Dutta, A., Gupta, A., Zisserman, A.: VGG Image Annotator (VIA). <https://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/software/via/>

Generación de música mediante inteligencia artificial

Pérez Cervantes Ricardo Iván, Federico del Razo López, Eréndira Rendón Lara

Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de México, México.

mm23280232@toluca.tecnm.mx, fdelrazol@toluca.tecnm.mx, erendonl@toluca.tecnm.mx

Resumen. La creación de contenido artístico mediante inteligencia artificial (IA) ha ido en constante evolución, combinando la creatividad humana con los algoritmos del aprendizaje automático. En el campo de la música se han abordado diversos enfoques como la composición de piezas originales, armonización, acompañamiento, generación de letras, imitación de estilos y artistas, entre otros. Para lograr avanzar en este rubro se han empleado diversas técnicas de IA, tales como el uso de redes neuronales y métodos de probabilidad y estadística para la predicción de notas y acordes. Todo comienza desde la definición del tipo de datos que se utilizarán como ejemplos para la fase de entrenamiento; estos pueden ser de tipo imagen; algunos ejemplos son las partituras, tablaturas o piano roll; así como de tipo audio destacando las frecuencias de onda y archivos MIDI. Los resultados más sobresalientes los podemos encontrar en aplicaciones como Jukebox, que utilizó 1.2 millones de canciones para la fase de entrenamiento de su red, y se pueden generar nuevas pistas basándose en canciones conocidas y que son seleccionadas por el usuario. Otra de las aplicaciones más sobresalientes es AIVA, que fue entrenada con más de 30 mil pistas en forma Piano Roll. Esta aplicación genera música basándose en las entradas proporcionadas, pudiendo ser ritmo, género de la canción, estado emocional e instrumentación. En este artículo se mostrarán algunos de los trabajos más representativos que hay con respecto a la generación de música mediante IA, mencionando el modelo de red neuronal empleado en cada proyecto.

I. Introducción

La composición musical puede darse de muchas maneras; siempre surge de una idea principal que puede ser la melodía, la letra, una secuencia de acordes o incluso un patrón rítmico. Posteriormente se va complementando con ideas secundarias que el autor va añadiendo conforme el desarrollo de la pieza va tomando forma. Este proceso creativo no siempre es lineal y muchas veces las ideas generadas no son plasmadas en un orden cronológico, es decir, no precisamente la primera idea que el autor tuvo es la primera en aparecer en la canción. Por lo que se puede considerar que la creación de música es subjetiva desde el punto de vista que depende de muchos factores humanos, por ejemplo, el estado de ánimo del compositor. Sin embargo, existen reglas sustentadas en la teoría musical que nos ofrecen una guía a la hora de crear una composición; aunque no es

una ley seguir estas reglas, está comprobado que estas fueron creadas en el transcurso del estudio de la música para documentar las sensaciones auditivas y emotivas que generan. Dicho esto, surge una cuestión importante: ¿cómo enseñarle este proceso creativo que no es puramente lógico a una computadora?

Si lo que se pretende es hacer música mediante el uso de técnicas de IA, primero es necesario delimitar los objetivos y los alcances.

En la actualidad existen muchas aplicaciones que han sido desarrolladas para fines musicales y que son una herramienta más para el músico compositor; por ejemplo, existen aplicaciones que pueden generar melodías a partir de una armonía, o viceversa; generar letras, estilos musicales, contrapunto e incluso masterizar una canción dada. Los trabajos más destacados de los últimos años se enlistan en la Tabla 1:

Tabla 1. Aplicación de IA en música

Autores	Título	
Open AI Company (2019 – Hoy)	Jukebox	Aplicación para generar canciones mediante IA: • De uso libre y se basa en canciones que el usuario elige como inputs. • Entrenado con una base de datos de 1.2 millones de canciones. • Considera letra, artista, álbum, género y año de la canción.
Cheng-Zhi, et. Al (2019)	Generating music with long-term structure	Modelo de Red Neuronal para la generación de contrapunto musical: • Mejor aproximación a un proceso creativo mediante sampleo Gibb. • Algoritmo que crea bloques musicales y prueba acomodándolos en varias partes de la canción.
Lim, et. Al (2020)	Chord generation from symbolic melody	Modelo de Red Neuronal para la generación de contrapunto musical: • Mejor aproximación a un proceso creativo mediante sampleo Gibb. • Algoritmo que crea bloques musicales y prueba acomodándolos en varias partes de la canción.
Oord, et. Al (2018)	Wavenet	Sistema de Red Neuronal Convolutacional de Datos de Imagen de partitura: • Genera acompañamiento musical en forma de una progresión de acordes dada una melodía. • Esta red fue entrenada con un corpus de 2252 partituras.
Briot, et. Al (2019)	Deep learning techniques for music generation – a Survey	Compilado de experimentos y análisis sobre el uso de Deep Learning y Redes Neuronales para la generación musical: • Melodía, polifonía, acompañamiento y contrapunto. • Dependiendo del tipo de RN se hizo uso de datos de entrada de diferentes tipos: señales de audio, señales de audio transformadas a imagen, archivos MIDI, entre otros.
Chaun et. Al (2021)	Deep Learning for Music – Workshop Proceedings	Modelo de RNC: • Genera música polifónica mediante representaciones gráficas. • El modelo es de tipo predictivo y genera secuencias temporales de audio.

Sin duda alguna, aún hay muchas áreas de oportunidad con respecto a la aplicación de IA en la música. A medida que estas dos áreas se entrelazan, se obtendrán también más herramientas para la realización de contenido musical, facilitando en gran medida el proceso de composición. Crear una canción estará al alcance de todos, lo cual podría resultar benéfico para la industria musical y transversalmente para otros sectores en los que se requiere una ambientación sonora, por ejemplo, obras de teatro, *soundtracks* para películas, comerciales e incluso para la enseñanza musical.

2. Fundamentos teóricos

Como en todos los casos en los que se ha utilizado IA y en específico redes neuronales para la generación de contenido, el primer paso es definir el tipo de datos con los que se va a trabajar (Briot, J. P., Hadjeres, G., y Pachet, 2019), y serán utilizados en la fase de entrenamiento del modelo. Entre más grande sea el banco de datos, mejores serán los resultados. En el caso particular de la música se han utilizados varios tipos de datos para representar una canción; los hay de tipo imagen, audio, cifrado y lenguaje de programación, entre otros.

En la Figura 1 se muestran algunas representaciones de datos musicales con los que se han entrenado modelos de redes neuronales para la generación de pistas de audio:

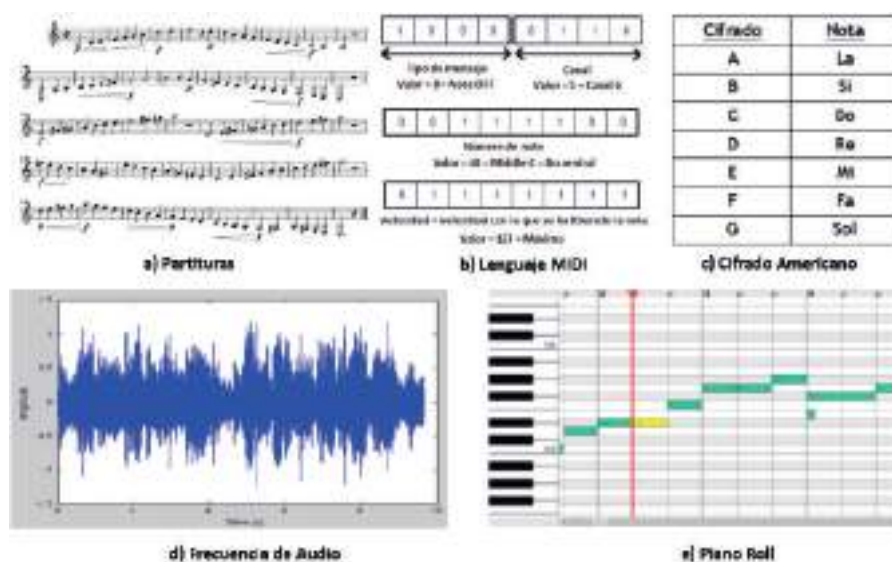


Figura 1. Representación musical en diferentes formatos

Una vez definido el tipo de dato a utilizar, el siguiente paso es cómo codificar los datos para que puedan ser interpretados como entradas en la arquitectura de una red neuronal (Gaëtan Hadjeres, 2018). Por ejemplo, en el trabajo realizado por Lim et al. “*BLSTM Chord Accompaniment Symbolic Music Generation System*” se utilizaron 2,252 partituras de musica rock, pop, country, jazz, folk, R&B, entre otras. Los autores codificaron la información extraída de las partituras en una matriz, la cual se muestra en la Figura 2:

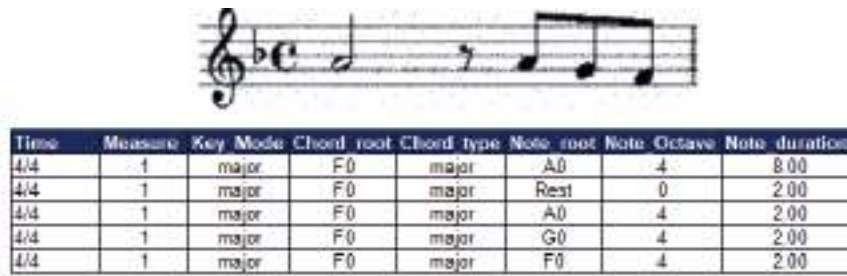


Figura 2. Ejemplo de datos extraídos de una partitura

Una vez codificados los datos, Lim et al, asociaron entradas compuestas por 4 compases de melodía con sus respectivos acordes de salida y de esta manera entrenar a la red neuronal para asociar notas de una melodía con acordes, hacer referencia a la Figura 3:

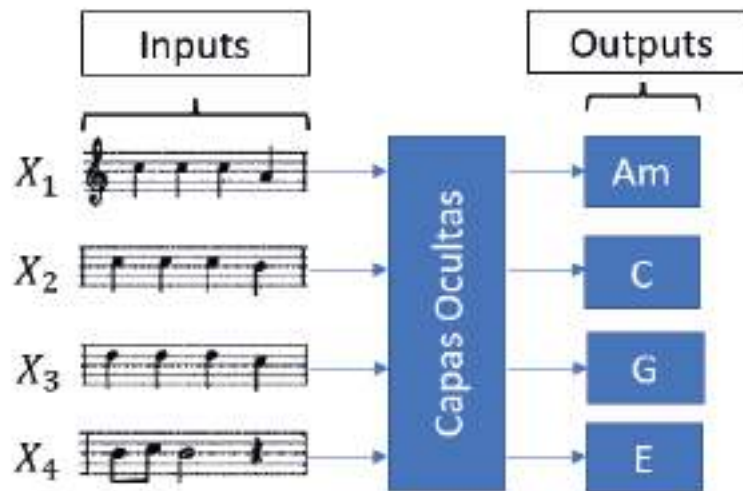


Figura 3. Estructura básica de una Red Neuronal que genera acordes para una melodía dada

3. Trabajos recientes

Una de las aplicaciones más sobresalientes para la generación de música mediante inteligencia artificial es “Jukebox”. Este modelo de red neuronal se entrenó con un conjunto de datos de 1.2 millones de canciones en formato RAW Audio (44.1K samples/seg), después se codificaron utilizando redes neuronales para comprimirlas a un rate de 344 samples/seg, posteriormente se buscaron patrones mediante un modelo que consideraba el tipo de letras, y por último estos bloques generados se regresaban al formato RAW Audio mediante otro modelo de red neuronal (Open AI, 2020).

Los metadatos de la base de datos incluyen información adicional como la letra, artista, álbum, género y año de lanzamiento, lo cual permite que la generación musical sea más apegada a un estilo o artista en particular. Cuando los usuarios interactúan con Jukebox, proporcionan información inicial para guiar la generación de música. Esto podría incluir géneros musicales, emociones que se desean transmitir, instrumentos preferidos y otros detalles que influyen en el resultado. Basándose en la información proporcionada, el modelo empieza a generar música original: puede crear desde piezas clásicas hasta composiciones innovadoras que fusionan

diferentes estilos. El modelo utiliza sus conocimientos adquiridos durante el entrenamiento para crear música coherente y atractiva. Asimismo, el usuario tiene la opción de ajustar y refinar la música generada, ofreciendo retroalimentación o solicitando cambios específicos en la composición. Esto ayuda a personalizar aún más la música según los gustos y preferencias individuales.

Es importante destacar que Jukebox no solo imita estilos musicales existentes, sino que también tiene la capacidad de crear combinaciones únicas y originales. Además, la calidad de la música generada puede variar según la complejidad de las instrucciones iniciales y la iteración del proceso. Open AI no solicita los derechos de autor, las únicas dos condiciones que pide es que no se lucre de manera comercial con el contenido creado en la aplicación y que siempre se haga mención de que el contenido generado fue hecho con dicha aplicación.

4. Conclusiones

La aplicación de IA y Deep Learning para la creación de música original es un avance que fusiona la creatividad humana con la capacidad de análisis y aprendizaje automático de modelos de redes neuronales, dando espacio para incrementar la relación hombre-máquina. Por otro lado, el desarrollo de aplicaciones para la creación de música facilitará y eficientizará la manera en que se compone una pieza hoy en día.

Finalmente, si las canciones generadas por modelos de inteligencia artificial son consideradas arte o no, es algo subjetivo y queda libre a la opinión de cada persona, sin embargo, logran cumplir la función de expresar ideas y generar sensaciones auditivas agradables a quien las escucha.

5. Referencias

- [1] Briot, J. P., Hadjeres, G., y Pachet, F. -D (2019). *Deep learning techniques for music generation – a survey*.
- [2] Gaëtan Hadjeres. *Interactive Deep Generative Models for Symbolic Music*. PhD thesis, École Doctorale EDITE, Sorbonne Université, Paris, France, June 2018
- [3] Van den Oord, A., Dieleman, S., Zen, H., Simonyan, K., Vinyals, O., Graves, A., . . . Kavukcuoglu,
- [4] K. (2016). *Wavenet: A generative model for raw audio*. En The 9th ISCA speech synthesis workshop, sunnyvale, Ca, USA, 13-15 september 2016 (p. 125). IS-CA
- [5] AIVA. (2020), Recuperado el 22 de Agosto de 2023, website: <https://www.aiva.ai/about>
- [6] Open AI. (2020). Jukebox. Recuperado el 22 de agosto de 2023, website: <https://openai.com/research/jukebox>

¿Cómo saber si hay una relación entre a y b ?

Rojas García Diana¹, Ramírez Hernández Marivel¹,

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de México, México.

drojasg2@toluca.tecnm.mx

Resumen. En el presente trabajo se explica el concepto de correlación y sus tipos. De igual forma, se muestra su representación por medio de diagramas de dispersión, así como su aplicación al proyecto de investigación “Análisis de factores académicos, sociales y de comportamiento a través de técnicas de minería de datos, en estudiantes de nivel superior durante la pandemia de COVID-19”, proponiendo un procedimiento para la obtención de la correlación de más de 30 variables para su posterior implementación en Machine Learning.

Palabras clave: correlación, machine learning, estadística.

1. Introducción

En el mundo de la ciencia y de la investigación es necesario encontrar qué relación existe entre el elemento a y el elemento b . El nombre formal de estos elementos es *variable independiente* y *variable dependiente*. El concepto al cual hacemos mención es el de correlación. Se define de la siguiente manera: medida para cuantificar la relación que existe entre un dato a y un dato b , con la finalidad de predecir un valor futuro; a esto último se le conoce como regresión.

La correlación a veces se suele confundir con causa y efecto. Por ejemplo, si un alumno estudia arduamente luego entonces obtendrá una calificación satisfactoria. Esto quiere decir que la causa de que un estudiante apruebe es porque le dedicó más tiempo al estudio. Y en el caso de correlación se deben analizar los valores numéricos, las variables.

La cantidad de variables para el análisis a veces suele aumentar, como ocurrió en el trabajo de investigación presentado, por lo que hubo la necesidad de plantear una estrategia que permitiera eficientar dicho análisis.

2. Fundamentos teóricos

La correlación es un valor en el rango de -1 a 1 [1], pudiendo ser positivo (mayor a cero, >0), negativo (menor a cero, <0) o nulo (igual a cero, $=0$). Este resultado permite medir la fuerza de la relación que existe entre 2 variables [1, 2]. Cabe hacer mención que este tema es un método importante para hacer estadística inferencial.

2.1 Gráfica de dispersión

La forma más simple de obtener la correlación entre 2 variables es por medio de la gráfica de dispersión. Para trazarla, en la línea horizontal (eje x) se colocan los valores de la variable independiente. Posteriormente, en la línea vertical (eje y) se enumeran los datos que corresponden a la variable dependiente. Finalmente, al unir ambos datos se puede obtener alguna de las siguientes graficas mostradas en la Figura 1:

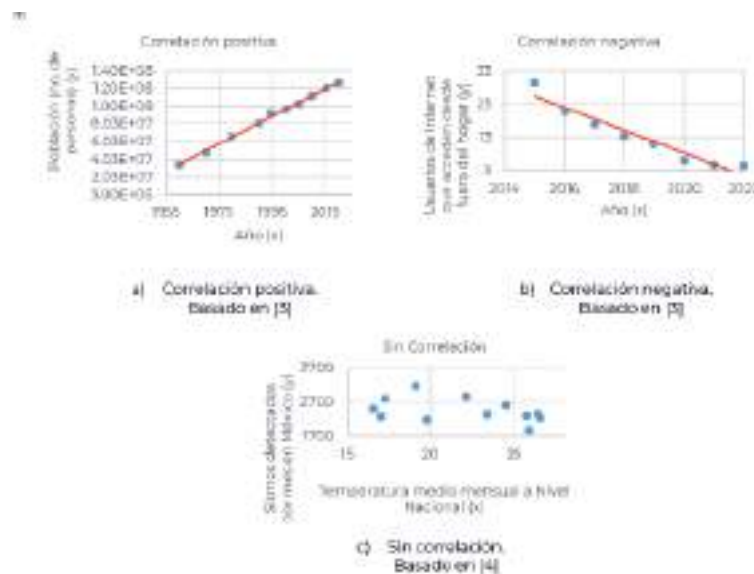


Figura 1. Gráficas de dispersión de los distintos tipos de correlación

En la Figura 1.a se puede observar que año guarda una correlación positiva con población de personas. Esto es, ambas variables inician con valores bajos y al incrementar el valor de x aumenta el valor de y . Además, se puede dibujar una línea recta que se aproxima a todos los puntos. Por el contrario, con la Figura 1.b se observa que x inicia con un número bajo, pero el valor de y es alto. Y a medida que incrementa año $-x-$ van disminuyendo los usuarios de internet que acceden fuera del hogar $-y-$. A esto se le llama *correlación negativa*.

Finalmente, en el inciso 1.c se observa que la temperatura mensual no está relacionada con los sismos en México. Por lo tanto, los valores de x , y van variando, y no es posible pintar una línea recta que acerque todos los valores, *correlación nula*.

2.2 Correlación de Pearson

También es posible asignar un valor numérico a la correlación. La correlación de Pearson, conocida como coeficiente de correlación producto-momento de Pearson o coeficiente de correlación (r) [3]. Se utiliza r para

¿Cómo saber si hay una relación entre a y b?

identificar la correlación de la población o r^2 para indicar el coeficiente de una muestra. Esta última se calcula por medio de la formula [2]:

$$r^2 = \frac{a \sum Y + b \sum XY - n \bar{Y}^2}{\sum Y^2 - n \bar{Y}^2} \quad (1)$$

Donde:

r^2 , coeficiente de determinación de la muestra	$\bar{Y}$, media de los valores observados de la variable dependiente
a, ordenada y	X, Valores de la variable independiente
b, pendiente de la línea de estimación de mejor ajuste	Y, Valores de la variable dependiente
n, número de puntos dados	

Sin embargo, existen otros 2 tipos de correlación, no tan difundidos, enfocados en datos que no siguen una distribución normal –no tienen el mismo valor en la media, mediana y moda–.

2.3 Coeficiente de Kendall

La correlación de Kendall o coeficiente de Tau se basa en los intervalos jerarquizados de las observaciones que en los propios datos [5]. Es decir, de la lista de observaciones se elige una columna de referencia, posteriormente se inicia a evaluar el primer registro, contando los valores hacia abajo que son menores -Sb-, y mayores -Sa- al dato en cuestión. Este proceso se realiza con todos los renglones y al final se obtiene la sumatoria de las columnas Sa y Sb para aplicar la siguiente formula:

$$\tau = \frac{(Sa - Sb)}{\left[\frac{n * (n - 1)}{2} \right]} \quad (2)$$

Donde:

n, número de observaciones
Sa, sumatoria de rangos más altos
Sb, sumatoria de rangos más bajos

Una de las ventajas de esta correlación es la facilidad de cálculo; por el contrario, una desventaja es que los datos tienen que ser continuos.

2.4 Correlación de Spearman

En la correlación de Spearman, al igual que la anterior, los datos no tienen que seguir una distribución normal. Además, su uso se aplica a variables de tipo cualitativo [5], se basa en los rangos, números de orden, de cada grupo de sujetos y compara dichos rangos al tener una escala ordinal; el primer paso es obtener las diferencias de rangos entre las variables () y posteriormente se aplica la siguiente formula:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n^3 - 1} \quad (3)$$

En el cálculo de las correlaciones el último paso es la interpretación de los resultados obtenidos. Esto es, analizar si las variables de estudio están correlacionadas de manera positiva, esto es, un valor cercano a 1. Se tiene una correlación negativa, un valor próximo a -1. O son variables que no influyen una sobre la otra, tienen una correlación nula, el valor se acerca a 0.

3. Desarrollo del trabajo

Para calcular los diferentes tipos de correlación, se puede usar cualquier software de estadística, tales como Excel, SPSS, entre otros.

Pero en la investigación no siempre se tienen 2 variables para analizar. En el desarrollo del proyecto “Análisis de factores académicos, sociales y de comportamiento a través de técnicas de minería de datos, en estudiantes de nivel superior durante la pandemia de COVID-19”, se requirió el análisis de más de 30 variables de estudio. Estas representaron los atributos o características extraídos por medio de un cuestionario aplicado a la comunidad del Tecnológico de Toluca. Por lo que fue necesario implementar un procedimiento para optimizar el tiempo de análisis.

El proceso da inicio con la elección de los 2 primeros atributos que corresponden a x , y . En el siguiente paso se calcula la correlación de ambas y se hace el siguiente análisis:

1. Si la correlación obtenida es cercana a cero se desecha y , esto porque no hay influencia entre estas características que aporte a la investigación
2. Si el resultado es >0.7 o en el intervalo de -0.7 a -1 , entonces la variable y es elegida para que sea una de las variables de entrada del siguiente proceso

En cualquier opción elegida, lo siguiente es aumentar el contador que ayuda a llevar el control de los atributos comparados. Este proceso se repite hasta contrastar cada característica contra todos sus símiles, apoyándose de otra variable que lleva este control. Este proceso se muestra en la Figura 2.

Es importante recalcar que el objetivo de esta metodología es elegir el o los atributos destacados de todo el conjunto de observaciones extraídas, mismos que serán la entrada para trabajar con los modelos de machine learning.

¿Cómo saber si hay una relación entre a y b?

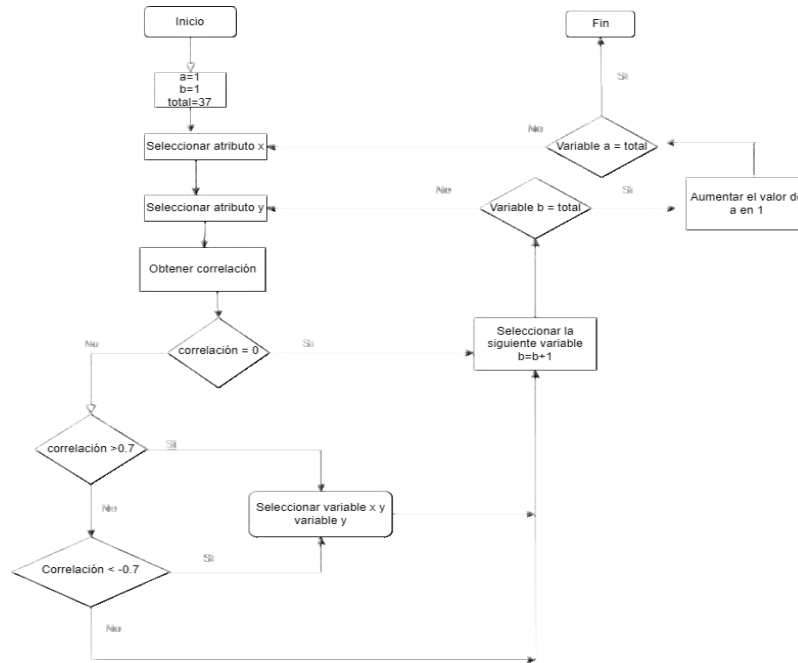


Figura 2. Proceso para la elección de las variables usando correlación

4. Conclusiones

La propuesta presentada permitió el análisis de la correlación de más de 30 variables. Mismo que puede implementarse para n cantidad de variables. Además de facilitar al investigador el estudio de gran cantidad de variables para elegir las más optimas., para su posible implementación con alguna técnica de machine learning y/o para realizar alguna inferencia sobre los datos.

5. Referencias

- [1] Walpole R., Myers R., Myers S., Ye K., “*Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*” en *Regresión lineal simple y correlación*. Novena, México: Pearson Educación.2012.
- [2] Levin R., Rubin D. Estadística para administración y economía, Séptima, México: Pearson Educación, 2004.
- [3] INEGI (2023 Julio 13), Población, [Online], URL: <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>
- [4] SSN (2023 Julio 13), Resumen Mensual de Sismicidad, [Online], URL: <http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/resumen-mensual/>
- [5] Badii, M., Guillen A. Lugo O., Aguilar J., “Correlación no paramétrica y su aplicación en la investigación científica”, International Journal of Good Conscience, 2014, Vol. 9(2), 31-40.

Diseño y Construcción de un Entrenador Mioeléctrico para Prótesis de Mano

Óscar Raúl Pérez Olmos¹, Itzel María Abundez Barrera¹, Liliana Argueta Figueroa¹

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n, Colonia Agrícola Bellavista, Metepec, Estado de México, México.
mm22281241@toluca.tecnm.mx

Resumen. A nivel mundial, el número de personas que han sufrido una amputación ha aumentado de manera importante debido a diferentes factores, como el envejecimiento de la población, así como la aparición de enfermedades crónicas. Las personas amputadas requieren un entrenamiento de los músculos remanentes, por lo cual se ven obligadas a ir a clínicas de rehabilitación, lo que implica un consumo alto de tiempo y recursos, lo que puede afectar significativamente sus actividades cotidianas de trabajo y esparcimiento. La propuesta de utilizar un entrenador mioeléctrico obedece a la idea de ayudar a una persona amputada de mano a mejorar su calidad de vida utilizando un dispositivo que le ayude en su proceso de entrenamiento-rehabilitación y prepararla para la utilización de una prótesis mioeléctrica. Como parte del tratamiento y acondicionamiento de la señal, se definieron grupos de participantes en función del género y la edad de las personas, teniendo en cuenta que no presentaron ninguna patología muscular que pudiera interferir con los resultados del estudio. El objetivo de este trabajo es desarrollar un prototipo de entrenador mioeléctrico focalizado en la adquisición de una señal mioeléctrica superficial del miembro superior. La señal obtenida se procesa para obtener un valor que permita visualizar el movimiento de una mano virtual, lo que facilita el proceso de aprendizaje por parte de los pacientes.

Palabras clave: Mioeléctrico, prótesis, electromiografía.

1. Introducción

En la última década, el número de personas que ha sufrido una amputación aumentó de manera importante debido a diferentes factores, como son accidentes laborales y domésticos, el envejecimiento de la población en general, y la aparición de enfermedades de larga duración. En particular, la amputación de manos presenta retos por resolver al afectar la imagen, las relaciones sociales y la capacidad de seguir realizando su trabajo y sus actividades diarias.

El problema principal de las personas que han sufrido una amputación de mano es la difícil adaptación al nuevo estilo de vida. Cuando una persona ha perdido su mano puede tener los músculos del antebrazo aptos para producir señales mioeléctricas, sin embargo, no todos los amputados son capaces de controlar una prótesis. En ocasiones, los nervios o los músculos residuales sufren daño permanente debido a la amputación, lo que provoca que la persona no pueda mover los músculos de su antebrazo. Una señal electromiográfica es un tipo de señal biométrica que permite medir las corrientes eléctricas producidas por los músculos cuando se contraen. López C. et al. [1] realizaron un trabajo donde demostraron que, en el caso de producir señales electromiográficas, el sujeto puede ser candidato a usar un entrenador mioeléctrico. De esta manera, al utilizar un entrenador mioeléctrico, el usuario tiene la posibilidad de entrenarse y desarrollar las habilidades necesarias para utilizar una prótesis mioeléctrica.

En este trabajo se plantea diseñar y construir un entrenador mioeléctrico que permitirá que las personas amputadas realicen un entrenamiento, previo al uso de una prótesis mioeléctrica de mano. Este entrenador mioeléctrico adquiere la señal electromiográfica de los músculos del antebrazo con electrodos de superficie; con la señal procesada se obtendrá la señal de control que será enviada al software de simulación de mano virtual.

El entrenador mioeléctrico propuesto en este trabajo permite que el usuario se rehabilite de forma ambulatoria para mover sus músculos residuales del antebrazo para controlar la relajación y contracción voluntaria de dichos músculos.

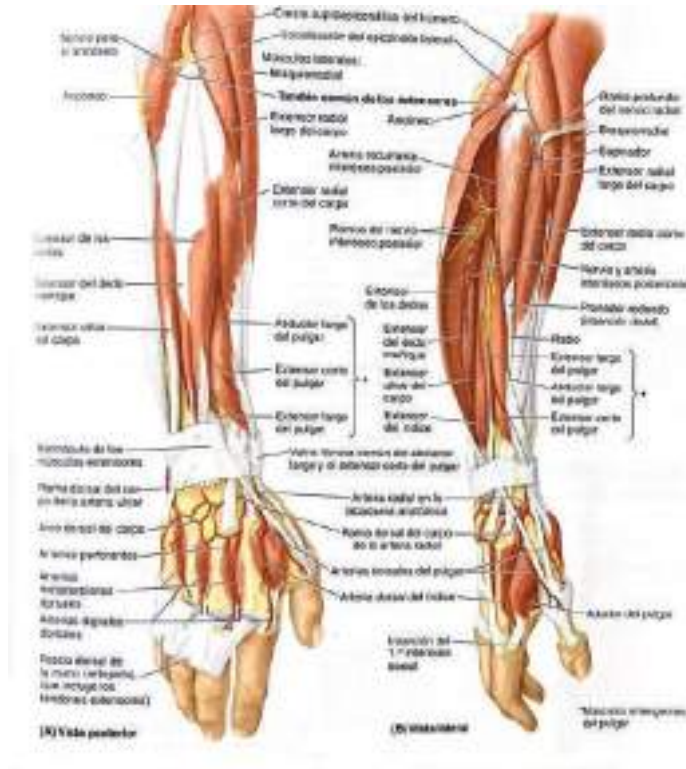
Es importante señalar que una de las aportaciones principales de esta investigación es desarrollar una tecnología mexicana de vanguardia que sea accesible, ya que actualmente los entrenadores mioeléctricos que existen en el mercado son costosos y se fabrican en otros países, por lo cual es difícil adquirirlos.

2. Fundamentos teóricos

2.1 Anatomía y fisiología del músculo esquelético

López M. [2] define que “El tejido muscular es uno de los cuatro tejidos básicos del cuerpo. Sus células se caracterizan principalmente por su propiedad contráctil. La contractilidad celular se define como el acortamiento de la dimensión de una célula”.

El tejido muscular es el componente principal de los músculos. Gracias a la presencia de este tejido, así como a otros como los huesos y los tendones, podemos llevar a cabo el movimiento a través del cual los organismos pueden interactuar con su entorno. En la Figura 1 se muestra la posición de los músculos principales del antebrazo.



[6] **Figura 1.** Músculos principales del antebrazo para mover la mano. A) Vista posterior. B) Vista lateral. Recuperado de López M. [3]

2.2 Señales mioeléctricas y electromiografía

Una señal electromiográfica es una concentración de varios potenciales de acción generados por las fibras musculares y es producida por los músculos de un sujeto sano cuando realiza movimientos de la mano. En la Figura 2 se muestra una señal electromiográfica típica obtenida en un sujeto sano utilizando electrodos mioeléctricos superficiales. En particular, la señal corresponde a una contracción y expansión muscular del antebrazo. La electromiografía (EMG) es una técnica que mide la actividad eléctrica de nervios y músculos. En una persona sana, el cerebro emite una señal (movimiento voluntario) que se transmite a través de los nervios para que los músculos reaccionen de diferente forma.

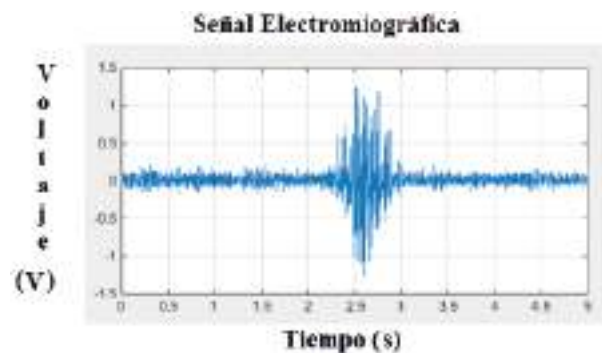


Figura 2. Señal electromiográfica típica de una persona sana cuando contrae o expande los músculos del antebrazo

2.3 Entrenadores mioeléctricos

Un entrenador mioeléctrico es un dispositivo que recibe señales mioeléctricas a través de sensores mioeléctricos que se colocan de manera superficial y no invasiva sobre la piel del antebrazo; una vez que el entrenador recibe la señal, esta se procesa para generar una señal con patrones definidos. Algunos entrenadores mioeléctricos que existen en el mercado son Entrenador BLINC [8], Entrenador Myo Armband [9], Brazaletes EMG OCTA [10]. El presente trabajo de investigación busca mejorar el entrenamiento de los pacientes teniendo en cuenta su edad y género, además de utilizar una técnica de inteligencia artificial.

3. Desarrollo del trabajo

El presente trabajo es un diseño de estudio prospectivo y comparativo, con un ensayo clínico no aleatorizado. El universo de estudio abarca a todas las personas que presentan pérdida de la mano, y la muestra se obtuvo por conveniencia. La metodología de trabajo para este proyecto se muestra en la Figura 3.

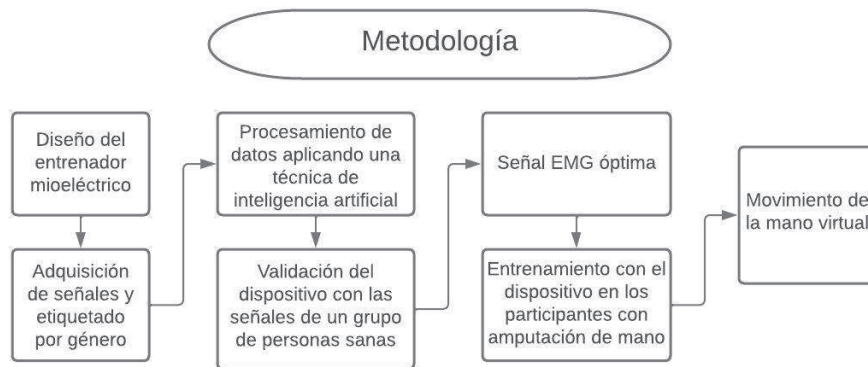


Figura 3. Metodología para el desarrollo del entrenador mioeléctrico

3.1 Diseño

El sistema está formado por un sensor Myoware V2 [11], una tarjeta Arduino conectada a una computadora y un software de simulación de mano. Ver Figura 4.



Figura 4. Diagrama del sistema del entrenador mioeléctrico

3.2 Adquisición de datos

Las pruebas realizadas se aplicaron a sujetos que pueden abrir y cerrar sus manos sin problema, considerándose como sujetos no amputados, como se muestra en la Figura 5. Esto se hizo con la finalidad de adquirir señales que sirvan como referencia para hacer la comparación con sujetos amputados. También se llevó a cabo para probar el sistema de adquisición de señales electromiográficas que se desarrolló y comparar los resultados con las señales óptimas de un sujeto sano que se indican en la literatura [2-4].

Se realizaron pruebas a 5 hombres y a 5 mujeres no amputados. En esta primera etapa de adquisición de datos, se eligieron sujetos sanos para obtener un valor de referencia y verificar el correcto funcionamiento del sensor.

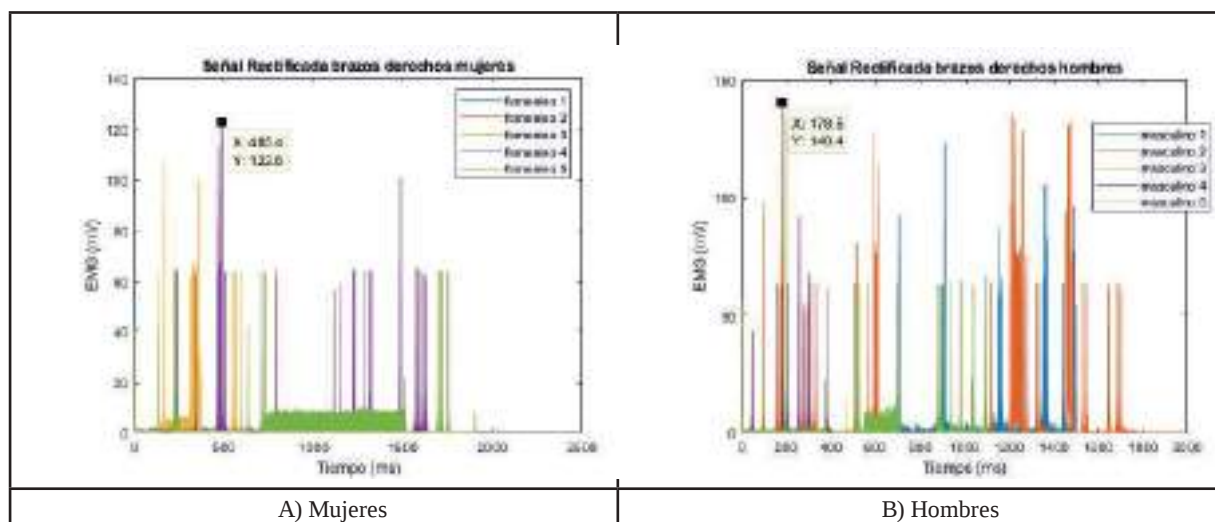


Figura 5. Gráfica comparativa del músculo *Flecra carpi radialis*. A) Mujeres y B) Hombres

En la Figura 5A se observa que en los sujetos femeninos estudiados se presentó un valor máximo de 122.6 mV. En la Figura 5B se observa que en los sujetos masculinos estudiados se presentó un valor máximo de 140.4 mV. Estos valores pueden servir como umbral para tener un punto de referencia en la rehabilitación de los pacientes. Otra opción puede ser considerar el valor promedio de los 5 sujetos de prueba, teniendo en cuenta que el valor obtenido se utilizará para determinar el umbral al que debe llegar el sujeto en rehabilitación.

4. Conclusiones

Se realizaron pruebas en los músculos de los antebrazos izquierdo y derecho en un grupo de sujetos que tienen sus miembros superiores sanos. Con los datos obtenidos, se cuenta con una referencia del comportamiento de las señales electromiográficas en sujetos sanos y se pueden comparar con las señales esperadas en una persona que no tenga su mano y cuyos músculos puedan generar dichas señales.

Utilizando una herramienta como Matlab, se es posible llevar a cabo el procesamiento de las señales sin necesidad de construir circuitos electrónicos. Las etapas de amplificación, filtrado y rectificación se realizaron a partir de la información registrada con el sensor mioeléctrico.

Una característica importante fue considerar grupos de sujetos de prueba clasificados por género, con el fin de contrastar las diferencias que implican los diferentes tamaños de los músculos.

El sistema plantea el uso del control de una prótesis de mano mioeléctrica, y como siguiente etapa del trabajo se empleará una técnica de inteligencia artificial que moverá una mano virtual.

5. Referencias

- [7] C. López Cabarcos, “Rehabilitación del amputado de miembro superior. Hospital Universitario La Paz; 2008.[acceso 23 de julio de 2013]”.
- [8] S. Bhavani, K. L. Krishna, R. Y. Reddy, and T. Geethika, “A low cost bionic arm based on electromyography sensor,” in *2020 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, 2020: IEEE, pp. 896-901.
- [9] M. R. Dawson, F. Fahimi, and J. P. Carey, “The development of a myoelectric training tool for above-elbow amputees,” *The open biomedical engineering journal*, vol. 6, p. 5, 2012.
- [10] R. De la Rosa Steinz and L. Liptak, “Entrenador mioeléctrico de prótesis para amputados de brazo y mano,” *Mapfre medicina*, vol. 13, no. 1, pp. 11-19, 2002.
- [11] L. A. Hruby, A. Sturma, and O. C. Aszmann, “Surface electromyographic biofeedback as a rehabilitation tool for patients with global brachial plexus injury receiving bionic reconstruction,” *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, no. 151, p. e59839, 2019.
- [12] B. López Martín and R. Pancorbo Hernández, “Cuidados avanzados en enfermería traumatológica: Amputación. España: AulaDAE Grupo Paradigma [acceso: 24/08/2017],” ed.
- [13] L. J. Medina Álvarez, “Características clínicas y demográficas de los pacientes amputados atendidos en el 3er piso de Rehabilitación en el Instituto Nacional de Rehabilitación.”
- [14] H. D. L. C. Regalado, C. E. L. Barrera, E. E. R. López, L. M. S. González, and A. R. García, “Propuesta de un entrenador mioeléctrico basado en una aplicación móvil,” *Pistas Educativas*, vol. 39, no. 128, 2018.
- [15] H. Romo, J. Realpe, P. Jojoa, and U. Cauca, “Surface EMG signals analysis and its applications in hand prosthesis control,” *Av. en Sist. e Informática*, vol. 4, no. 1, pp. 127-136, 2007.
- [16] R. Zhang, X. Zhang, D. He, R. Wang, and Y. Guo, “sEMG signals characterization and identification of hand movements by machine learning considering sex differences,” *Applied Sciences*, vol. 12, no. 6, p. 2962, 2022.
- [17] Entrenador BLINC, <https://blinclab.ca/research/device-development/project-3/>
- [18] Entrenador Myo Armband, <https://wearabletech.io/myo-bracelet/>
- [19] Brazalete EMG OCTA, <https://investigacion.pucp.edu.pe/grupos/girab/proyecto/brazalete-de-sensores-emg/>
- [20] Sensor Myoware V2, <https://myoware.com/>

Detección de violencia de género en video usando redes neuronales convolucionales

Cisniega Rendón Alejandro¹

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de México, México.

MM22281243@toluca.tecnm.mx

Resumen. Los altos niveles de violencia y agresiones que se registran en la actualidad en México y en Latinoamérica pueden atenderse desde un enfoque general haciendo uso de herramientas de manejo masivo de la información, aprovechando la gran cantidad de datos e información que se generan día con día en forma de videos e imágenes, trabajando en conjunto con centros de inteligencia, agencias de seguridad, sistemas de circuito cerrado y herramientas de videovigilancia. Aplicando uno de los recursos más poderosos de la inteligencia artificial para el aprendizaje y la visión por computadora que son las redes neuronales convolucionales es posible gestionar los miles de horas-video que son almacenadas en servidores y de esta manera atender más puntual y oportunamente a las víctimas de violencia, a través del monitoreo en tiempo real de videos de cámaras de seguridad.

1. Introducción

El denso crecimiento poblacional y demográfico no planeado, la precarización económica y laboral, la falta de oportunidades y muchos otros factores que permean la sociedad mexicana de hoy han generado un ambiente generalizado de violencia que afecta a prácticamente todos los sectores de la población mexicana, principalmente a las mujeres; esto ha propiciado la normalización de la violencia hacia la mujer, en gran medida debido a la poca capacidad de autoridades y gobiernos tanto del mundo como de México y Latinoamérica para responder con medidas efectivas para su atención, prevención y contingencia. Debido a eso, todos los días se registran una gran cantidad de agresiones físicas principalmente hacia la mujer, es por eso que existe la necesidad de desarrollar una herramienta con enfoque de género que pueda dar una oportunidad a las autoridades y personas involucradas de combatir y ayudar a mitigar el problema. Aprovechando las ya existentes cámaras de videovigilancia en lugares públicos y sistemas de circuito cerrado, así como trabajando en conjunto con las divisiones de monitoreo de gobiernos estatales y municipales y empresas de seguridad privada, se pretende

desarrollar un recurso basado en Aprendizaje Automático e Inteligencia Artificial que ayude a disminuir estos registros de violencia.

La Inteligencia Artificial (IA) es la ciencia que busca recrear en computadoras capacidades del cerebro humano, como el aprendizaje y la memoria; es de las áreas de más reciente creación y que más desarrollo ha tenido en los últimos años. Surgen nuevas herramientas, técnicas y propuestas en muy cortos periodos de tiempo y cada vez son menos los problemas que no pueden abordarse desde un enfoque computacional basado en IA. Una de estas herramientas es las redes neuronales convolucionales, una poderosa herramienta de la IA destinada a tareas que involucren visión por computadora y/o aprendizaje a partir de videos o imágenes. Es por eso que existen al día de hoy una gran cantidad de proyectos centrados en la detección de violencia en video en tiempo real, muchos de los cuales han alcanzado porcentajes de acierto muy elevados que podrían implementarse en sistemas de vidoevigilancia reales con excelentes resultados.

2. Fundamentos Teóricos

La inteligencia artificial es la ciencia que busca recrear a nivel computacional capacidades cognitivas propias del ser humano, como lo son el aprendizaje, el raciocinio, el habla, la escucha, la creatividad, entre otras; al día de hoy, máquinas o aparatos con algunas de estas habilidades se encuentran presentes en nuestra vida cotidiana [1].

El aprendizaje automático es la rama de la IA que da a las computadoras las herramientas pertinentes para que puedan aprender de la experiencia, en otras palabras, que puedan decidir por sí mismas cuándo es más conveniente tomar un camino en lugar de otro [2], lo cual representa un gran avance y diferencia en comparación con la programación tradicional, ya que esta consiste en automatizar principalmente. De estos se desprenden 2 subramas, el aprendizaje supervisado y el aprendizaje no supervisado, cuya principal diferencia radica en la naturaleza de la información; mientras que en la primera los datos tienen que ser etiquetados individualmente por un usuario humano, en la segunda aprende y distingue generalidades de un conjunto de datos.

Las redes neuronales artificiales son la rama de la IA que busca imitar el comportamiento del cerebro humano a nivel neuronal, por lo que se puede decir que mediante un modelado matemático a través de estructuras de procesamiento se desarrollan ciertas capacidades de cálculo, aprendizaje, memoria y razonamiento [3].

Finalmente, en estos proyectos se ha hecho uso principalmente de redes neuronales convolucionales, que es el tipo de red neuronal que está diseñada para, entre otras cosas, permitir a la computadora obtener información visual de su entorno a través de imágenes. Previamente se desarrolla un proceso de entrenamiento en el que se le muestran a la red imágenes etiquetadas de las diferentes categorías que se busca identificar para que esta pueda “aprender” a distinguir qué imagen corresponde a qué etiqueta.

Para el desarrollo de estos proyectos se han usado diversos tipos de redes neuronales convolucionales pre-entrenadas, como lo son AlexNet, VGG16, VGG19, ResNet, DenseNet, GoogLeNet, ResNetXT; de igual forma, es importante señalar que cada red en particular tiene sus usos, aplicaciones, fortalezas y limitaciones; algunas han sido pensadas para trabajar con grandes bancos de imágenes; otras, con imágenes de gran tamaño [5].

La gran mayoría de estas redes se consideran preentrenadas, ya que antes de publicarse han sido previamente entrenadas con bancos de imágenes que les permiten, por decirlo de alguna manera, “acostumbrarse” a trabajar con imágenes.

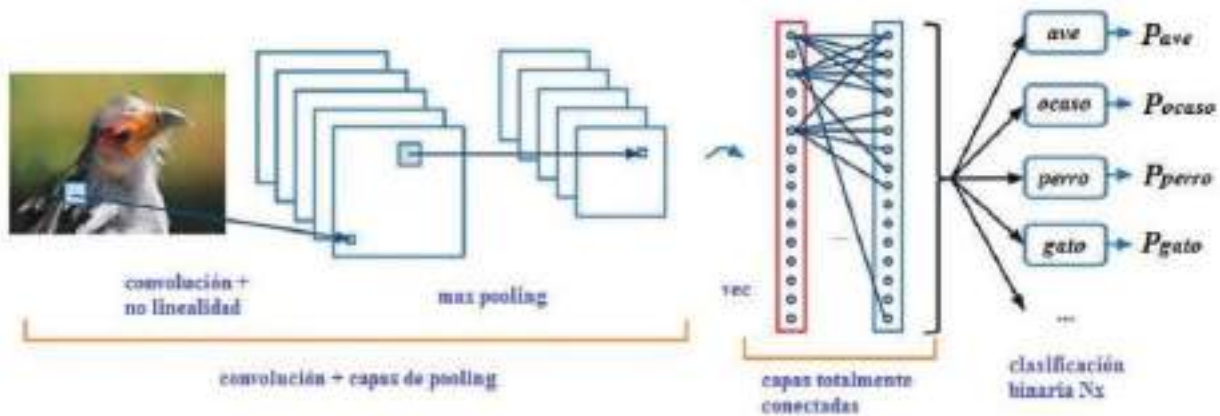


Figura 4. Arquitectura básica de una red neuronal convolucional. [7]

3. Desarrollo

Para el desarrollo de nuestro proyecto, se hizo uso de un banco de videos desarrollado específicamente para el entrenamiento de redes neuronales convolucionales encaminadas a detectar violencia [4]. Una vez estando seguros de que el banco de videos tuviera los permisos para uso público y con fines de investigación, se hizo la conversión de los videos a imágenes, de tal forma que 360 videos, 120 con acciones no violentas y el resto con acciones violentas, pasaron a ser poco más de 50 000 imágenes, de las cuales alrededor de 30 000 correspondían a acciones de violencia; las imágenes podrían haber sido clasificadas en al menos 10 categorías, sin embargo, al ser este un proyecto con enfoque de género, hicimos uso principalmente de las imágenes que involucraban acciones violentas en donde la víctima se tratara de una mujer.

Posteriormente, se realizó la clasificación y etiquetamiento de las imágenes en todas las categorías correspondientes; para proyectos como este se consideran principalmente categorías de violencia, no violencia y violencia de género.

Una vez listo el etiquetamiento y clasificación de las imágenes, se decidió hacer uso de la red neuronal convolucional preentrenada VGG16. Después del ajuste de los parámetros, entre los que destacan el número de veces que cada imagen pasa por la red (epochs), el tamaño del lote de imágenes que entran por vez a la red (batch), y de realizar el llamado “aumento de datos”, en el que la red aprovecha cada imagen de la mejor manera posible, modificándola de todas las maneras posibles (rotándola en todos los ángulos posibles, poniéndola en blanco y negro, etc.), y la selección del número de neuronas por capa, en el entendido de que entre más imágenes mejor será el entrenamiento de la red y mejor porcentaje de acierto tendrá, se han logrado alcanzar porcentajes de acierto de entre el 80% y 90%. Siendo este proyecto enfocado a la detección de violencia, se puede considerar como un buen resultado, ya que solo se requiere un par de imágenes para tener sustento necesario para generar una alerta de violencia.

4. Conclusiones

Los proyectos de detección de violencia en imágenes son variados, con enfoque diferente, y cada uno aporta un valor específico al área de las redes neuronales convolucionales y la violencia de género. Por ejemplo, en [6] se hace una comparativa de los porcentajes de acierto en la detección de violencia con 3 diferentes redes neuronales, lo cual puede darnos una idea de qué tipo de red es más eficiente a la hora de detectar violencia de género.

Existen también los proyectos encaminados a detectar la violencia desde una perspectiva general, o de diferenciar violencia y No violencia, o los encaminados a entrenar a la red en clasificación de imágenes ambiguas, en las que sea difícil para la red entender qué está pasando, y los proyectos que clasifican el tipo de violencia haciendo una diferencia entre arma de fuego, agresión común, estrangulamiento, etcétera.

Es gracias a estos esfuerzos y aportaciones que cada día se da un paso más al desarrollo de un sistema capaz de detectar y clasificar violencia en tiempo real que permita y facilite a las autoridades una respuesta oportuna, apropiada y contundente.



Figura 2. Ejemplo de imagen de violencia

5. Referencias

- [1] Boden, M. A. (2017). *Inteligencia artificial*. Turner.
- [2] Norman, A. T. (2019). *Aprendizaje automático en acción: Un libro para el lego, guía paso a paso para los novatos*. Tektime.
- [3] López, R. F., & Fernández, J. M. F. (2008). *Las redes neuronales artificiales*. Netbiblo.
- [4] Bianculli, M., Falcionelli, N., Sernani, P., Tomassini, S., Contardo, P., Lombardi, M., & Dragoni, A. F. (2020). A dataset for automatic violence detection in videos. *Data in brief*, 33, 106587.
- [5] Daniel Pérez-Aguilar^{1,□}, Redy Risco-Ramos^{1,□}, Luis Casaverde-Pacherrez (2021). Transfer Learning for Binary Classification of Thermal Images, 85 pp.
- [6] GAYTÁN AGUILAR, Iván et al. A Comparative Study of Three Pre-trained Convolutional Neural Networks in the Detection of Violence Against Women. **CIENCIA ergo-sum**, [S.l.], v. 31, n. 2, abr. 2023. ISSN 2395-8782. Disponible en: <<https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/19352>>. Fecha de acceso: 28 ago. 2023
- [7] Santiago Carlos Uría. Visualización en Redes Neuronales Convolucionales. Universidad Nacional de Luján. Trabajo Final de Licenciatura (2019).

Aplicación de redes neuronales artificiales para predecir el oxígeno disuelto en cuerpos de agua en el Estado de México

Ivette Jater-Ruiz Ana, Villegas-Camacho Octavio, Javier Illescas¹

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico S/N, Col. Agrícola

Bellavista, C.P. 52149. Metepec, Estado de México.

ajaterr@toluca.tecnm.mx

Resumen. Actualmente, el modelo más utilizado en la inteligencia artificial es conocido como redes neuronales artificiales (RNA), que ha experimentado un aumento significativo principalmente como herramienta, siendo muy utilizada para la predicción del oxígeno disuelto en el agua. El propósito de este trabajo es presentar las RNA como una herramienta viable para predecir los niveles de calidad del agua. Se realizó un análisis detallado de dos tipos de modelos de RNA, además un estudio práctico en el que se aplicaron estos métodos para predecir el nivel de oxígeno disuelto (OD) en el agua. El estudio realizado involucra el uso de inteligencia artificial con algoritmos de deep learning que permiten predecir parámetros fisicoquímicos del agua, como en este caso el oxígeno disuelto (OD). Se aplicaron dos tipos diferentes de RNA: el Perceptrón Multicapa (PMC) y las Redes Neuronales Convolucionales (RNC). Para llevar a cabo este análisis, se utilizaron conjuntos de datos provenientes de la plataforma UCI Machine Learning Repository, creando el archivo llamado water_dataset.mat; dicho archivo contiene información relacionada con 37 áreas geográficas distintas. El archivo fue preprocesado para poder utilizarlo en los algoritmos propuestos en esta investigación. Finalmente, se realizó una comparación en los ajustes a los diferentes hiperparámetros para determinar cuál de las RNA adquiere un rendimiento óptimo en la predicción cualitativa del modelo manejado. Obteniendo en el análisis un resultado del 70-73% en ambos modelos, este resultado no ha sido el esperado, pero se continuará experimentando con el objetivo de que en próximos trabajos se tomen en cuenta para predecir otros parámetros fisicoquímicos del agua.

Palabras clave: redes neuronales artificiales, predicción, inteligencia artificial, oxígeno disuelto.

I. Introducción

Las aguas de la superficie están expuestas a la contaminación de dos fuentes principales: la contaminación natural, que involucra el arrastre de los materiales en suspensión y los disueltos; otra es la contaminación de origen humano, que resulta de los vertidos de aguas residuales domésticas, la escorrentía de tierras agrícolas y los efluentes provenientes de procesos industriales, entre otros [1]. La degradación de las fuentes de suministro de agua tiene un impacto directo en el nivel de riesgo sanitario existente y en la clase de tratamiento necesario para su mitigación. Por lo tanto, la evaluación de la calidad del agua es esencial para implementar medidas de control asegurando la disponibilidad de agua analizándola a través de diferentes parámetros ambientales.

En la actualidad, el uso de tecnologías avanzadas ha revolucionado la forma en que abordamos la predicción y el análisis de parámetros ambientales críticos, como el oxígeno disuelto en cuerpos de agua dulce. El desarrollo de técnicas de Deep Learning ha permitido el surgimiento de las redes neuronales artificiales (RNA) como herramientas poderosas para la predicción en áreas de la ingeniería ambiental y recursos hídricos. Este estudio se enfoca en analizar e indagar la efectividad de las RNA en la predicción del nivel de oxígeno disuelto en cuerpos de agua dulce, basándose en tres parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad y temperatura, presentando un estudio empírico de dos tipos de RNA: Perceptrón Multicapa (PMC) y Redes Neuronales Convolucionales (RNC), empleadas para pronosticar parámetros fisicoquímicos [2].

Asimismo, se realizará una minuciosa revisión del panorama actual en la predicción de los niveles de oxígeno disuelto; este análisis facilitará la comprensión de las técnicas empleadas y las contribuciones de otros autores e investigadores.

Posteriormente, se procederá a optimizar los modelos de RNA con el fin de mejorar su precisión y capacidad predictiva; esto incluirá ajustes en los hiperparámetros y la exploración de diferentes arquitecturas de red. Para evaluar la efectividad de los resultados obtenidos se utilizarán métricas de evaluación tales como el coeficiente de determinación (R^2) para medir la precisión de las predicciones realizadas por los modelos de RNA desarrollados [3]. Esta evaluación permitirá determinar la confiabilidad y la precisión de los modelos en la predicción del oxígeno disuelto.

2. Fundamentos teóricos

La presencia de oxígeno disuelto (OD) se destaca como un valioso indicador de la vitalidad de los ecosistemas acuáticos. El OD ingresa al agua a través de la captación directa desde la atmósfera o mediante la fotosíntesis ejecutada por las plantas. Tanto las plantas como los animales emplean el oxígeno para llevar a cabo la respiración, al igual que las bacterias aeróbicas que lo consumen durante el proceso de descomposición. Los bajos niveles de OD son principalmente causados por la presencia de materia orgánica o de material inorgánico parcialmente oxidado [4].

Actualmente, las redes neuronales artificiales (RNA) han aumentado significativamente su aceptación como modelos de predicción en una amplia gama de campos. Las RNA se componen de elementos básicos de procesamiento llamados neuronas artificiales o nodos; estas unidades realizan cálculos para generar una respuesta única, ya sea a partir de datos de entrada provenientes del entorno o de señales recibidas de otras neuronas [5]. En las redes neuronales artificiales encontramos tres categorías de unidades: las de entrada, las de salida y las capas ocultas; el ejemplo de la arquitectura mencionada y funcionamiento de la RNA aplicada a la predicción de parámetros para analizar la calidad del agua en cuerpos de agua del Estado de México se puede observar en la Figura 1. Las capas de entrada captan señales del entorno, mientras que las capas de salida envían la señal fuera del sistema; por otro lado, las capas ocultas operan internamente, sin interacción directa con el entorno, procesando señales tanto de entrada como de salida en el sistema [6].

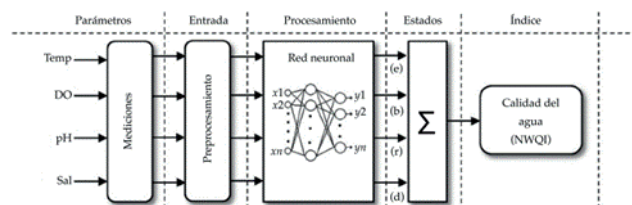


Figura 1. Estructura de red neuronal artificial (Fuente: Carbajal *et al.*, 2017https://tikz.net/neural_networks/)

Las redes neuronales convolucionales (RNC) constan de diversas capas con acciones específicas, por ejemplo, maxpooling, minpooling, flatten, solo por mencionar algunas; estas capas pueden encontrarse en la arquitectura de forma alterna, a diferencia de la arquitectura, que se utilizan en el perceptrón multicapa. Las capas convolucionales suelen constar de más de un filtro (también denominado kernel). De esta manera, cada filtro genera una operación de convolución que crea un nuevo mapa de características bidimensional. El total de características generadas a la salida de la capa será igual al número de filtros de la capa, por lo que podemos ver la salida en su conjunto como una nueva imagen cuyo número de canales es igual al número de filtros de la capa [7].

Una comparación de los métodos convencionales con la aplicación de las redes neuronales artificiales (RNA) nos indica que al utilizar las RNA tienen una mejor precisión de predicción, ya que son modelos matemáticos o regresiones lineales, las cuales han logrado una mayor precisión en la predicción del OD en comparación con los métodos convencionales.

Las RNA pueden aprender automáticamente a partir de datos históricos y adaptarse a patrones en los datos, lo que puede mejorar la precisión de las predicciones sin requerir ajustes manuales constantes como con los métodos convencionales; otro aspecto que considerar es que las RNA pueden generalizar mejor los datos de diferentes cuerpos de agua en el Estado de México en comparación con los métodos convencionales, los cuales pueden ser más específicos. Las RNA pueden adaptarse y aprender de manera continua a partir de nuevos datos de monitoreo del oxígeno disuelto, en comparación con los métodos convencionales, que pueden requerir ajustes manuales y actualizaciones periódicas.

3. Desarrollo del trabajo

Del archivo de UCI se tomaron dos grupos de datos, uno de 282 días y otro de 423 días; se realizó el preprocesamiento de los datos para estandarizar el archivo, creando un nuevo conjunto de datos; posteriormente, se verificó la normalización de los datos para continuar con la etapa de entrenamiento de las redes neuronales artificiales propuestas en este trabajo para poder predecir parámetros de pruebas fisicoquímicas; el parámetro considerado a predecir fue el oxígeno disuelto (OD). Se trabajó con un entorno virtual que lleva por nombre google colab, donde se desarrolla el algoritmo de las redes neuronales artificiales ya mencionadas; las librerías manejadas fueron tensorflow, keras, numpy, matplotlib, solo por mencionar algunas.

Se realizaron diferentes pruebas con los modelos PMC y RNC, buscando un resultado óptimo al predecir el oxígeno disuelto en una muestra de agua, iniciando con los hiperparámetros: razón de aprendizaje; 0.00001, optimizador; Adams, función de activación en la última capa; softmax.

Se realizaron modificaciones en algunas de las estructuras utilizadas tanto en las capas de entrada, capa oculta y la capa de salida, con una variación distinta en el número de neuronas, se ajustaron la función de activación en las diferentes propuestas de la arquitectura utilizada en el modelo de la red neuronal artificial; un ejemplo de esta arquitectura se puede ver en la Figura 2.

```

#Añade capa de entrada de 11 neuronas 11 parametros
model.add(Dense(11,input_shape=(11,),activation='relu', name="Layer_1"))
#Añade capa oculta de 16 neuronas
model.add(Dense(16, name="Hidden_layer", activation='relu'))
#Añade capa de salidas de 1 neurona oxigeno disuelto
model.add(Dense(1, name="Output_layer", activation='sigmoid'))
#model.add(Dense(1, name="Output_layer"))
model.summary()

```

Figura 2. Arquitectura de red neuronal artificial. (Elaboración propia)

El archivo utilizado para el entrenamiento de los dos modelos de la red neuronal artificial está formado y dividido en dos grupos: el primero consta de 423 resultados de pruebas fisicoquímicas en el agua analizadas en diferentes días y cada columna de este archivo representa los resultados de pruebas fisicoquímicas de las 37 zonas geográficas, las cuales son consideradas como atributos, y en una última columna se representa el valor de predicción por cada uno de los días. Este archivo es considerado de entrenamiento para los modelos de las redes neuronales artificiales.

El segundo archivo es utilizado para la validación, el cual se encuentra estructurado de la misma forma que el de entrenamiento; a diferencia que los resultados de las pruebas fisicoquímicas, son de un total de 282 días. Con el paso de la experimentación se logró definir la estructura secuencial de las capas de la siguiente manera: a la capa de entrada le corresponden 11 neuronas, seguida de una capa oculta de 16 neuronas y finalmente una capa de salida con una neurona formando el perceptrón multicapa.

El modelo fue adaptado a los conjuntos de datos de entrenamiento y validación, del cual se extrajeron los valores correspondientes al valor cuadrático medio (MSE) y el coeficiente de determinación (R^2), con la finalidad de medir la precisión del modelo. Estas métricas se utilizan para analizar y optimizar el rendimiento del modelo debido a que son muy concurrentes en el uso de la predicción.

Finalmente, se emplearon las redes neuronales artificiales PMC y RNC con el fin de predecir parámetros derivados de pruebas fisicoquímicas, iniciando con la predicción del nivel de OD; la red PMC mostró un mejor resultado en el coeficiente de determinación de entrenamiento con respecto a la red RNC, logrando un valor óptimo con menos cantidad de épocas, a diferencia del Perceptrón Multicapa, como se puede observar en la Tabla I.

Tabla I. Descripción general de los resultados de los modelos de las RNA utilizados

	R^2 Entrenamiento	R^2 Validación
RNA PMC	0.738 con 6000 épocas	0.684 con 1000 épocas
RNA RNC	0.7 con 3000 épocas	0.375 con 2000 épocas

En el caso de la red neuronal artificial PMC, alcanzó el rendimiento con un coeficiente de determinación R^2 de 0.738 después de 6000 épocas de entrenamiento, mientras que en la red RNC se obtuvo un R^2 de 0.7 después de 3000 épocas. Esto sugiere que la red PMC logró una comprensión más sólida de los patrones en los datos de entrenamiento alcanzando un ajuste más preciso. No obstante, la cantidad de épocas no siempre refleja la eficacia del modelo, ya que el PMC necesitó más épocas para alcanzar su valor óptimo, en comparación con la red neuronal convolucional, que lo logró en menos épocas.

En cuanto a los valores de prueba, la red PMC logró un R^2 de 0.684 con 1000 épocas, mientras que la red RNC obtuvo un R^2 de 0.375 con 2000 épocas. Esto implica que la red PMC demostró una mejor capacidad para generalizar y adaptarse a nuevos datos en comparación con la red RNC.

4. Conclusiones

Los enfoques convencionales para evaluar la calidad del agua en ríos suelen ser complicados y costosos, debido a la necesidad de utilizar equipos especializados y personal experto para llevar a cabo las mediciones y analizar los resultados fisicoquímicos. En este estudio se exploró el uso de dos redes neuronales artificiales como una alternativa efectiva para pronosticar los niveles de calidad del agua.

Los resultados preliminares obtenidos son altamente alentadores y se acercan de manera significativa al objetivo. Además, se observó que la red neuronal de tipo PMC requirió más iteraciones para alcanzar el valor óptimo, mientras que la red de tipo RNC logró el valor óptimo con menos iteraciones. Al evaluar los resultados de R^2 entrenamiento se evidenció que la red RNC logró aprender mejor los patrones en los datos de entrenamiento y ha logrado un ajuste más preciso con respecto a la red PMC.

Los hallazgos de este estudio respaldan la viabilidad de utilizar redes neuronales artificiales como una herramienta para poder predecir los resultados de pruebas fisicoquímicas. Específicamente, este análisis se enfocó en predecir el oxígeno disuelto (OD) en el agua. Estos resultados sugieren que las redes neuronales artificiales representan una solución factible para abordar la predicción de parámetros importantes en pruebas de calidad del agua, ofreciendo un enfoque más eficiente y prometedor en comparación con los métodos convencionales.

5. Referencias

- [8] Carbajal-Hernández J., Sánchez-Fernández L., Hernández-Bautista I., Hernández-López J. (2017). Modelo basado en redes neuronales artificiales para la evaluación de la calidad del agua en sistemas de cultivo extensivo de camarón. ISSN 0187-8336 • Tecnología y Ciencias del Agua, vol. VIII, núm. 5, pp. 71-89.
- [9] Chuchuca B., Sicha J. y Sacoto E. (2022). Desarrollo e implementación de un algoritmo de predicción de consumo de agua potable y visualización de los datos de consumo por usuario y sectores mediante redes neuronales recurrentes dentro del proyecto CEDÍA-TARPUQ. Tesis. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. 10-23.
- [10] Aguilar A. y Obando-Díaz F. (2020). Aprendizaje automático para la predicción de calidad de agua potable. Ingeniare, Universidad Libre-Barranquilla, Año 16, No. 28, ISSN: 1909-2458. 48-53, 47-62.
- [11] Areerachakul S., Junsawang P. and Pomsathit A. (2011). Prediction of Dissolved Oxygen Using Artificial Neural Network. International Conference on Computer Communication and Management Proc. of CSIT vol.5 IACSIT Press, Singapore.
- [12] Origel C., Rendón E., Abundez I., Alejo R. (2020). Redes neuronales artificiales y árboles de decisión para la clasificación con datos categóricos. Research in Computing Science 149(8), 541–554.
- [13] Dalal, K. R. (2020). Analysing the Role of Supervised and Unsupervised Machine Learning. International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems. 26-32.
- [14] Quiñones L., Ochoa L., Kemper N., Gamarra O., Bazán J., Delgado J. (2020). Red neuronal artificial para estimar un índice de calidad de agua. Ingeniería enfoque UTE, V.11-N.2. e-ISSN: 1390-6542. 109-120.
- [15] Montañés R., Aznar R., Del Hoyo R. (2018). Aplicación de un modelo híbrido de aprendizaje profundo para el Análisis de Sentimiento en Twitter. TASS 2018: Workshop on Semantic Analysis at SEPLN. ISSN 1613-0073. 51-56.

Aplicación de matriz de disimilitud para definir el número de grupos (k) del algoritmo de inteligencia artificial k-medias

Zepeda Izquierdo, Kevin¹, Martínez Gallegos, Sonia¹

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Toluca, Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de México, México.

MM22280270@toluca.tecnm.mx

Resumen. El algoritmo k-medias utilizado en inteligencia artificial divide un conjunto de datos numéricos en k número de grupos. Este algoritmo requiere conocer del número k de grupos para poder implementarse. Existen distintos métodos para calcular tal número, como los son el método codo de Jambú, Silhouette, entre otros. Debido al crecimiento reciente de la inteligencia artificial comparado con otras áreas de estudio más consolidadas, aún se siguen explorando y planteando nuevas formas de definir procedimientos aplicables en los algoritmos de esta área. Este trabajo propone una manera distinta a los métodos más comunes para calcular dicho número de grupos. La matriz de disimilitud describe la diferencia entre pares de datos. Una vez aplicada la matriz de disimilitud a dos configuraciones de datos, se comparan para elegir cuál de esos dos es más disímil, y así poder proponerlo para ser empleado en el algoritmo k-medias.

Palabras clave: matriz, disimilitud, k grupos, inteligencia artificial, algoritmo, k-medias.

I. Introducción

La inteligencia artificial (IA) y su crecimiento ha sido un tema para debatir desde hace décadas. Sin embargo, no ha sido hasta apenas el surgimiento de inteligencias artificiales como el ChatGP, Bard del buscador Google, Dalle 2, entre otros, que su aplicación en la generación de imágenes hiperrealistas, capacidad de resolver evaluaciones académicas con elevada precisión y un extenso etcétera de ejemplos, es que se dimensionan las posibilidades sobre lo influyente que será la inteligencia artificial en nuestras vidas a partir de ahora.

Diagnósticos médicos con mayor precisión [5], mayor seguridad en el transporte autónomo [6] y más sectores son los que se ven influenciados a través de la inteligencia artificial. La IA se ayuda de diferentes algoritmos para

operar, como lo puede ser mediante las populares redes neuronales artificiales, máquina de vectores soporte, árboles de decisión, por mencionar algunos.

Esta área de estudio, por ser emergente, comparada con otras ciencias más establecidas como lo es la química o biología, es relativamente nueva, y aún se siguen explorando distintas formas de cómo aplicar los métodos/algoritmos para obtener nuevos resultados en diferentes aplicaciones. Proponer nuevas formas de resolver viejas problemáticas con la inteligencia artificial es común en estos días.

Para poder proponer formas de resolución de problemas con la inteligencia artificial, se debe conocer el funcionamiento de los algoritmos de los cuales se apoya, para así poder predecir, asociar, clasificar o agrupar las resoluciones que entreguen estos algoritmos. Por ello, esta propuesta de trabajo describe la forma de calcular diferencias entre datos a través de la matriz de disimilitud que puede ser aplicable en el algoritmo k-medias al momento de definir la cantidad de grupos que requiere para funcionar.

2. Fundamentos teóricos

Inteligencia Artificial: Utiliza las computadoras para emular las aptitudes de la mente humana de resolver problemas [1]. Esta área de estudio ha experimentado un auge en los últimos años debido al crecimiento de la capacidad de cómputo de los procesadores, la cantidad de datos generada a través de dispositivos inteligentes y el ancho de banda del actual internet.

Algoritmo K-medias: Es un método que divide un conjunto de datos numéricos en k número de grupos. Requiere conocer del número k de grupos para implementarse, ya sea a través de conocimiento previo sobre la cantidad de grupos en los cuales se debe dividir; por ejemplo, si queremos separar un grupo de personas entre hombres y mujeres, el grupo es = 2; o si no se tiene ese conocimiento, definirlo con técnicas como el codo de Jambú, método Silhouette, etcétera. [4].

Una posible forma de poder definir la cantidad de agrupaciones necesarias sería a través de la disimilitud, la cual nos diría que entre mayor disimilitud/distancia o promedio de disimilitudes/distancias haya entre los grupos o centroides, mayor sería su futura diferencia o distancia inter-class entre ellos, por lo cual sería conveniente elegir aquella configuración de grupos con mayor disimilitud/distancia o promedio de disimilitudes/distancias.

En las investigaciones más recientes para definir la cantidad k de grupos que emplear en el algoritmo k-medias, existen pocas que proponen hacerlo a través de matriz de disimilitud.

Matriz de disimilitud: Es una matriz que describe la diferencia por pares de M cantidad de objetos. Es cuadrada (simétrica) de tamaño MxM. Los elementos diagonales de la matriz no se consideran, o son cero, debido a que la diferencia de un objeto consigo mismo es cero [2].

Enseguida se describe en la **Figura 1.** la composición básica de dicha Matriz.

	a	b	c
a	0	$ (a-b) $	$ (a-c) $
b	$ (b-a) $	0	$ (b-c) $
c	$ (c-a) $	$ (c-b) $	0

Figura 1. Composición de la matriz de disimilitud. Fuente: Primaria (elaboración propia)

3. Desarrollo del trabajo

Los objetos por comparar son 4 centroides (o k futuro número de grupos del algoritmo k-medias), en donde M es igual a la cantidad de objetos por comparar, 4 en este caso, ubicados aleatoriamente en la recta numérica. Por tanto, la primera configuración de centroides en el eje x se observa en la **Figura 2**.

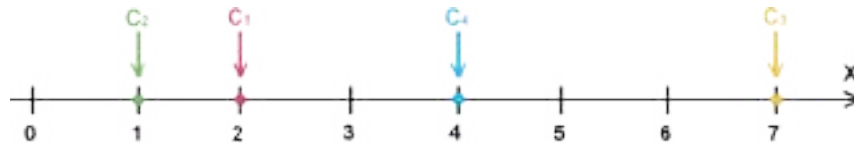


Figura 2. Eje x describiendo la primera configuración de centroides o futuros grupos.

Fuente: Primaria (elaboración propia)

La matriz de disimilitud realiza la diferencia por pares de todos los M objetos como se indica en la **Figura 3**, incluyendo la diferencia por sí misma, de tal forma que la matriz de disimilitud de la configuración de centroides arriba descritos sería de la siguiente manera:

Puntos		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	
C ₁ = 2	C ₁	0	1	5	2	
C ₂ = 1	C ₂	1	0	6	3	Matriz triangular superior
C ₃ = 7	C ₃	5	6	0	3	
C ₄ = 4	C ₄	2	3	3	0	Matriz triangular inferior

Figura 3. Matriz de disimilitud en la primera configuración de centroides.

Fuente: Primaria (elaboración propia)

Debido a que la matriz triangular superior tiene los mismos valores que la matriz triangular inferior, marcadas en naranja, como se muestra en la Figura 3, solo tomaremos las distancias de una de ellas; para este ejemplo es utilizada la matriz triangular superior, aunque es indistinto cuál de las dos se tome [3].

Las distancias resultantes de aplicar la Matriz de disimilitud se observan en la **Figura 4**. y son:

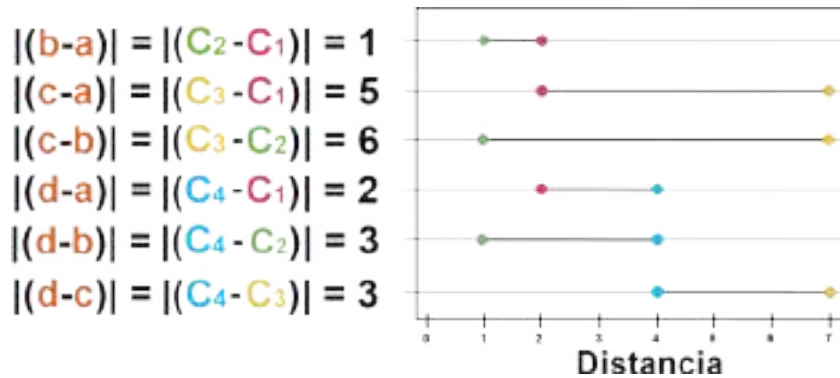


Figura 4. Distancias de la matriz de disimilitud de la primera configuración de centroides o futuros grupos.

Fuente: Primaria (elaboración propia)

Ordenando de mayor a menor las distancias resultantes se observan como en la **Figura 5**.

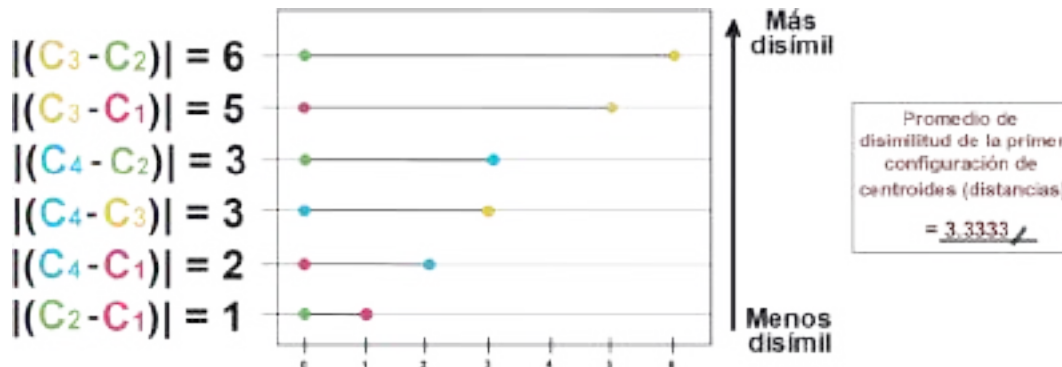


Figura 5. Distancias de la matriz de disimilitud ordenados de más a menos disímil. Fuente: Primaria (elaboración propia)

Realizando el mismo procedimiento de aplicar la matriz de disimilitud con la configuración de 5 centroides que se pueden observar en la **Figura 6** (centroides en total), obtenemos que el promedio de disimilitud de esta configuración es de **2.1818**, siendo menor que la de la primera configuración, ya que esta tuvo un promedio de **3.3333**, esto a pesar de tener un centroide menos que la segunda. Por lo cual podemos elegir la primera configuración de centroides como la más adecuada cantidad de grupos en el algoritmo k-medias.

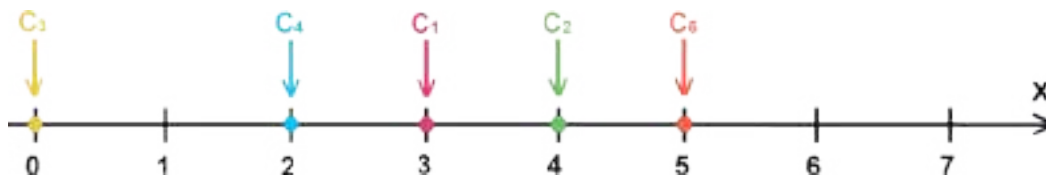


Figura 6. Eje x describiendo la segunda configuración de centroides.

Fuente: Primaria (elaboración propia)

4. Conclusiones

Si se busca elegir configuraciones de grupos lo más diferentes posibles para emplear en el algoritmo k-medias, el método de disimilitud aquí descrito puede ser una posibilidad para hacerlo.

Los resultados presentados pueden considerarse obvios ya que visualmente se puede observar cuáles son los datos más distantes o diferentes debido a que solo se cuenta con una dimensión (eje x), pero cuando se agregan más muestras y dimensiones o atributos al problema, detectarlo visiblemente se complica. Por eso, esta propuesta puede resultar útil para definir la cantidad de grupos que utilizar en el algoritmo k-medias, en donde desde el inicio se sepan las posiciones de los centroides por utilizar en este algoritmo.

La matriz de disimilitud no solo se puede emplear en el campo de la inteligencia artificial; se puede aplicar en cualquier área en donde se necesite una forma de calcular qué tan distante o diferente es un dato con respecto a otro.

5. Referencias

- [1] IBM, “Artificial intelligence”, IBM.com.
- [2] <https://www.ibm.com/mx-es/topics/artificial-intelligence> (accedido el 25 de agosto del 2023).
- [3] Statistics, “Dissimilarity Matrix”, Statistics.com.
- [4] [https://www.statistics.com/glossary/dissimilaritymatrix/#:~:text=The%20dissimilarity%20matrix%20\(also%20called,the%20\(j\)th%20object.](https://www.statistics.com/glossary/dissimilaritymatrix/#:~:text=The%20dissimilarity%20matrix%20(also%20called,the%20(j)th%20object.)
- [5] W. Keith Nicholson, “Matrix Algebra” en *Linear algebra with applications*, McGraw Hill, séptima edición, Estados Unidos, McGraw-Hill Ryerson, 2013, capítulo 2, sección 7, páginas 103-109.
- [6] Richard O. Duda, Peter E. Hart y David G. Stork, “Unsupervised Learning and Clustering” en *Pattern classification*, Wiley, Segunda edición, Estados Unidos, Wiley, 2000, capítulo 10, sección 4, 13-14.
- [7] U.S. Government Accountability Office, gao.gov.com.
- [8] <https://www.gao.gov/blog/machine-learnings-potential-improve-medical-diagnosis> (accedido el 28 de agosto de 2023).
- [9] Dimitrios I. Tselentis, Eleonora Papadimitriou y Pieter van Gelder, “The usefulness of artificial intelligence for safety assessment of different transport modes”, *Ac. An. Prev.*, vol. 186, March 2023, doi. org/10.1016/j.aap.2023.107034.

**MEDIO AMBIENTE Y TRATAMIENTO DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS**

Identificación de oportunidades en la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) en el Estado de México utilizando Ciencia de Datos

Gaytán Aguilar Iván¹, Hernández Berriel María del Consuelo¹, Mañón Salas María del Consuelo¹, Martínez Gallegos María Sonia Mireya¹, García Jiménez Vicente²

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de México, México.

² División Multidisciplinaria en Ciudad Universitaria, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua.

Resumen. El objetivo del presente proyecto de investigación es identificar oportunidades en la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) en el Estado de México a través del uso de la Ciencia de Datos. A nivel nacional el Estado de México ocupa el primer lugar en generación de RSU, con un promedio de 15 768 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Actualmente, en la entidad existen 16 rellenos sanitarios, en donde disponen de sus residuos 65 municipios, y 35 sitios no controlados, donde disponen de sus residuos 39 municipios. La tecnología ha demostrado ser una aliada en encontrar soluciones para nuestro mundo; la Ciencia de Datos, por ejemplo, puede utilizarse para identificar áreas en donde se está generando una mayor cantidad de residuos y ayudar al desarrollo de soluciones para la reducción de estos.

Palabras clave: GIRSU (Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos), RSU (Residuos Sólidos Urbanos), Ciencia de Datos.

I. Introducción

En la legislación mexicana, los residuos sólidos urbanos (RSU) se definen como aquellos generados en los hogares, resultantes de la eliminación de materiales utilizados en actividades domésticas, de productos consumidos, y de sus envases, embalajes o empaques. También incluye aquellos residuos que provienen de actividades similares en establecimientos o en la vía pública, así como los generados por la limpieza de vías y espacios públicos (DOF 2014).

La generación de RSU está directamente relacionada con las actividades humanas cotidianas y se ve incrementada por diversos factores, como el crecimiento demográfico, los cambios en los patrones de consumo, la migración y nuevas costumbres. Estos factores hacen que la gestión de residuos sea un reto importante y una problemática contemporánea (Buenrostro y Bocco 2003, GTZ 2003, Ojeda y Beraud 2003).

El Estado de México recibe diariamente entre 9000 y 10 000 toneladas de residuos provenientes de la Ciudad de México, acumulándose en la entidad aproximadamente 26 000 toneladas cada 24 horas, lo que genera congestión en las vías debido al tránsito de tráileres cargados con dichos desechos.

A nivel nacional, la recolección diaria de residuos sólidos registra un promedio de 107 millones 055 mil 547 kilogramos, de los cuales un 12.1% se recolecta de manera selectiva. En el Estado de México se reporta una generación mensual de 69 213 596 toneladas.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo aplicar la Ciencia de Datos a la recopilación y análisis de datos relacionados con la generación y cuantificación de los RSU en el Estado de México. Con esto se pretende que la información obtenida sea útil para los responsables de la toma de decisiones en la entidad, con el fin de mejorar o implementar futuros programas destinados a la recolección y tratamiento de residuos en el estado.

2. Fundamentos teóricos

Hoy en día, el uso de dispositivos IoT (*Internet of Things*), la interconectividad de máquinas y sistemas, y el desarrollo de algoritmos analíticos que son características principales de la Industria 4.0 se trasladan también a otros ámbitos conectados con el industrial. Los avances en el ámbito industrial repercuten con la gestión de residuos, ya que estos ámbitos están estrechamente relacionados. La conexión con sensores en las instalaciones de los socios industriales, el Big Data y los avances significativos en el análisis de datos, permiten a las empresas de gestión de residuos mejorar su dominio y automatizar muchas de sus soluciones y procesos. La información se despliega en una plataforma de análisis de datos para la optimización de procedimientos de gestión de residuos. Mediante el uso de esta plataforma, se pueden supervisar y analizar los datos de los contenedores industriales y optimizar su planificación basándose en diferentes herramientas analíticas y datos históricos. Además de la descripción de la plataforma, se presta especial atención a los métodos (Vafeiadis et al., 2019).

En (Kedia, 2016) se centran en la realización de análisis de datos y el aprendizaje de las tendencias de estos utilizando algunos algoritmos de aprendizaje automático. Básicamente, los datos recogidos de todos los contenedores de basura, su capacidad de llenado, serán capturados y se emplea Big Data para obtener información a partir de los datos recopilados. Se aplican a los datos algunos métodos supervisados y no supervisados, como KNN y Density Estimation, tomando medidas para futuras operaciones con los datos. Esto ayudó a la creación de valor en la industria del IoT, que aporta beneficios al propietario de las empresas o a la sociedad.

La idea principal de (Dunkel et al., 2022) fue la de encontrar los vínculos entre las variables socioeconómicas y demográficas que determinan las cantidades de los tipos de residuos sólidos producidos por los países. Esto permitió predecir con exactitud a nivel de país la producción de residuos y determinar los requisitos para el desarrollo de estrategias eficaces de gestión de residuos. En concreto, se utilizaron varios modelos de regresión de datos de aprendizaje automático (Support Vector, Gradient Boosting y Random Forest) y de agrupación (k-means) para predecir respectivamente la producción de residuos de los países de la OCDE a lo largo de los años y también para realizar agrupaciones entre estos países en función de características similares.

3. Desarrollo del trabajo

Con el objeto de contar con información relevante que ayude a la contextualización de este proyecto de investigación, la metodología prevista para el desarrollo del presente, en primera instancia se realizará una revisión de literatura existente para crear un panorama del tema tratado. Esta revisión y análisis de bibliografía consta

de una revisión de libros, normas, leyes y artículos relacionados con el tema. Principalmente, se buscarán casos de éxito en donde se haya aplicado Ciencia de Datos en el proceso de gestión de residuos sólidos urbanos.

Posteriormente, se procederá con la búsqueda de sitios de información para la extracción de datos y se realizarán las solicitudes de la información a las instituciones que correspondan. Se seleccionarán y agruparán fuentes de información afines y se generará una base de datos centralizada con los datos obtenidos de las distintas fuentes de información. Teniendo la base de datos como punto de partida, basada en la generación y gestión de los residuos sólidos urbanos, se aplicará la metodología fundamental de la Ciencia de Datos (IBM, 2015) para buscar patrones subyacentes y crear un modelo descendente iterativo que permita determinar de manera clara y objetiva verdaderas áreas de oportunidad.

En general, la metodología propuesta está delimitada en torno a los objetivos y al alcance de esta investigación, lo que permitirá realizar inclusiones y exclusiones de acuerdo con las técnicas empleadas para el análisis de datos y de los programas empleados. Esto permitirá realizar un análisis de datos mediante ciertas técnicas que ayuden a lograr el objetivo planteado y posteriormente podrá definirse la metodología que seguir para futuros análisis o proyectos.

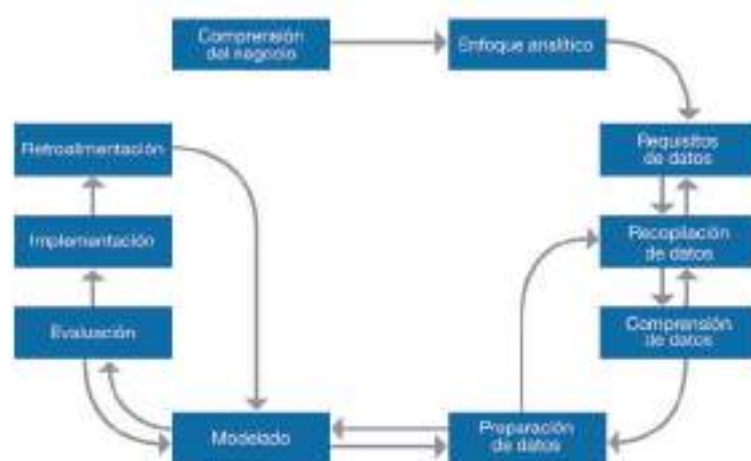


Figura 1. Metodología Fundamental para la Ciencia de Datos (IBM, 2015)

4. Conclusiones

El bienestar social juega un papel fundamental en el desarrollo regional; este se promueve por medio del uso de las tecnologías disponibles y su aplicación para mejorar el entorno ambiental e institucional, lo que genera un mejor desempeño en las actividades económicas (Hernández Mar et al., 2021). Actualmente, se busca que la GIRSU incorpore tecnologías, como la Ciencia de Datos, y dependiendo de diversos factores, buscar siempre la maximización del reciclaje y la minimización de los destinados a la disposición final. El uso de una u otra tecnología depende de factores como volumen, consumo de energía y el balance de costos y beneficios (Chavéz Visavilbaso, 2010).

La reducción de desperdicios y el fomento del reciclaje son fundamentales para asegurar un futuro sostenible en nuestro planeta. La ciencia de datos ofrece múltiples herramientas para desarrollar e implementar soluciones innovadoras. Gracias a los datos obtenidos con estas tecnologías, se espera que tanto gobiernos como empresas se comprometan a reducir sus niveles de residuos. En el ámbito de la gestión y manejo de desechos,

es crucial que las autoridades estatales colaboren con el sector académico. Esto permitiría llevar a cabo más investigaciones, actualizar las estadísticas sobre generación de residuos, realizar evaluaciones ambientales y recibir asesoramiento en el diseño de programas que identifiquen tendencias y amplíen la cobertura geográfica.

5. Referencias

- [1] Bhada-Tata, P., & Hoornweg, D. A. (2012). What a waste?: a global review of solid waste management.
- [2] Buenrostro O. y Bocco G. (2003). Solid waste management in municipalities in Mexico: goals and perspectives. *Resour. Conserv. Recy.* 39 (3), 251-263. DOI: 10.1016/S0921-3449(03)00031-4
- [3] Chavéz Visavilbaso, A. (2010). El manejo de residuos en el Estado de México. 1(1), 1–4.
- [4] Dunkel, J., Dominguez, D., Borzdynski, Ó. G., & Sánchez, Á. (2022). Solid waste analysis using open-access socio-economic data. *Sustainability*, 14(3), 1233.
- [5] DOF (2014). Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. Diario Oficial de la Federación. 8 de octubre de 2003.
- [6] Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), 220–232. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2012.09.008>
- [7] Hernández Mar, R., Morales Calderón, J. R., & Rózga Luter, R. E. (2021). Gestión y recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) desde la perspectiva de la Ciudad Inteligente (CI): el caso de recolección de basura en el municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México.
- [8] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., & others. (2018). Metodología de la investigación (Vol. 4). McGraw-Hill Interamericana México.
- [9] IBM. (2015, June). Metodología Fundamental para la Ciencia de Datos. IBM Analytics.
- [10] Kedia, P. (2016). Big data analytics for efficient waste management. *Int J Res Eng Technol*, 5(10), 208–211.
- [11] Vafeiadis, T., Nizamis, A., Pavlopoulos, V., Giugliano, L., Rousopoulou, V., Ioannidis, D., & Tzouvaras, D. (2019). Data analytics platform for the optimization of waste management procedures. 2019 15th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), 333–338.

Centros de acopio para residuos sólidos urbanos valorizables en el Estado de México

Pérez Valdez, Julieta¹, Hernández Berriel, María del Consuelo¹, Hernández Contreras, Gisela Inés¹, Mondragón Zarza, Eloy¹, Gallegos Martínez, María Sonia Mireya¹, Mañón Salas, María del Consuelo², Cuéllar Robles, Fredy³

¹ Instituto Tecnológico de Toluca¹, Posgrado en Ciencias de la Ingeniería Ambiental.

² Departamento de Ingeniería Industrial, Av. Tecnológico S/N, Ex Rancho la Virgen, C.P. 52149, Metepec, Estado de México, México.

³ Departamento de Química y Bioquímica, Metepec, Estado de México, México.
mhernandezb@toluca.tecnm.mx

Resumen. La generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y un ineficiente Manejo Integral de RSU (MIRSU) han originado impactos en la salud y el ambiente. Si bien tanto administraciones públicas como particulares han establecido Centros de Acopio (CA), donde se canalizan los residuos valorizables, en México se estima que menos del 10% de los RSU se reciclan y gran parte de la ciudadanía desconoce su ubicación. Por ello, el objetivo de este trabajo fue identificar los municipios del Estado de México que cuentan con CA, su localización y los residuos que reciben. Se elaboró una base de datos a partir de la revisión de fuentes de información y portales de consulta municipal para el Estado de México (Edo.Mex.). Se detectaron 56 CA, de los cuales el 52.17% acepta plásticos de un solo uso y solo el 3% vidrio, y en donde Toluca lidera con 16 CA. Las administraciones municipales deben reportar información detallada de los CA, número total de estos, con sus razones sociales y direcciones. Asimismo, existen áreas de oportunidad que deben atenderse como prioridad, debido a que el 71.52% de los municipios en el Edo.Mex. carece de MIRSU.

Palabras clave: Residuos Sólidos Urbanos, Residuos Valorizables, Centros de Acopio.

I. Introducción

El crecimiento poblacional constante ha generado un aumento en las necesidades del hombre, y con ello el consumo de diferentes productos que conlleva a la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) reportó en el 2020 que en México el 78.54% de los RSU se enviaron para su “eliminación” a Sitios de Disposición Final (SDF), como última etapa

del Manejo Integral de los RSU, y que solo el 9.63% fueron segregados para su valorización y/o reciclaje [1]. Por lo anterior, la valorización de los residuos desde la fuente de generación y su transporte a centros de acopio es una de las tareas prioritarias de carácter ambiental para el país.

Los recolectores informales o segregadores primarios de RSU llevan a cabo un rol clave, ya que separan durante la recolección, o una vez depositados en el SDF, aquellos materiales que tienen valor económico, para posteriormente venderlos a un Centro de Acopio (CA), minimizando, aunque en una pequeña parte, el volumen de residuos destinados a disposición final, lo cual coadyuva tanto a la protección de los recursos naturales como a la extensión en tiempo de la vida útil de un Relleno Sanitario (RESA) y a la economía circular [2].

Con el objetivo de proteger y preservar los recursos naturales, se han celebrado cumbres o reuniones internacionales, como la Cumbre de Río de Janeiro (1992), en la cual se instituye que los RSU son la base para un cambio de perspectiva hacia la sostenibilidad, por ende, la aplicación de procedimientos como la valorización es de vital importancia, debido a que permite parcialmente la regeneración de los ecosistemas, reduciendo los efectos negativos derivados de un inadecuado Manejo Integral de RSU (MIRSU) [4]. Conforme a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue identificar los municipios del Estado de México que cuentan con CA y los residuos valorizables que reciben.

2. Fundamentos teóricos

2.1 Residuos Sólidos Urbanos

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) clasifica a los Residuos en tres grupos: RSU, Residuos de Manejo Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP). Los RSU son “Materiales generados en casas-habitación provenientes de la eliminación de los productos que se utilizan en actividades cotidianas, envases, embalajes o empaques; aquellos que provengan de establecimientos que generen residuos con características domiciliarias”. Los RME son “aquellos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o RSU, o que son producidos por grandes generadores”, y los RP son “residuos que cuentan con características: corrosivas, reactivas, tóxicas, flamables y/o biológico – infecciosas (CRETIB)” [3].

2.2 Residuos Valorizables

Se define a la valorización como el aprovechamiento de las características intrínsecas de los residuos a partir de procesos de recuperación, reutilización y reciclado [1], con la finalidad de darle al residuo un segundo uso o la oportunidad de sustituir materiales vírgenes en procesos productivos. Los RSU pueden ser segregados y posteriormente valorizados dependiendo de las técnicas factibles para cada tipo de RSU considerando sus propias características; en particular los residuos de materia orgánica aprovechable se pueden utilizar para composta o lombricomposta que se puede comercializar. Por otro lado, de los residuos inorgánicos se pueden recolectar los reciclables como papel, cartón, vidrio, plástico y metales [4].

2.3 Centros de Acopio

La LGPGIR define a los CA como “instalaciones autorizadas por la SEMARNAT para la prestación de servicios a terceros en donde se reciben, reúnen, trasvasan y acumulan temporalmente RSU valorizables, coadyuvando a la rentabilidad y el aumento de las tasas de valorización de los materiales recuperados y canalizados a estos sitios, considerando procesos administrativos, comerciales y de educación ambiental con la finalidad de realizar en forma adecuada, secuencial y detallada el manejo de los residuos con espacios específicos para el almacenamiento de cada tipo de residuo” [3].

3. Desarrollo del trabajo

La metodología de este trabajo comprendió la revisión documental de Planes de Desarrollo, Bandos Municipales y páginas web oficiales de los 125 municipios que conforman el Estado de México (Edo.Mex.), en donde se detectó la inexistencia de información puntual de CA por municipio y únicamente mencionan en global la composición de la recolección segregada de los RSU valorizables. Mientras que en fuentes de información nacionales como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), se proporciona el número total de CA a nivel estatal (Tabla 1).

Tabla 1. Centros de Acopio en el Estado de México

Número de Centros de Acopio	Documento	Fuentes	Año de publicación
17	Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales	INEGI [5]	2019
12	Compendio de Estadísticas Ambientales	SEMARNAT [6]	2022
17	Atlas Nacional de Residuos Sólidos Urbanos	SEMARNAT E INECC [7]	2022
16	Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos	SEMARNAT E INECC [1]	2020

A partir de la información del portal de consulta del Sistema Integral de Residuos del Edo.Mex. (SIREM), se elaboró una base de datos y una gráfica comparativa de los 56 CA registrados (Figura 1), donde los municipios que encabezan con mayor CA son Toluca (16), San Mateo Atenco (5), Tultitlán (4) y Cuautitlán Izcalli (4). En contraste, 15 de los 22 municipios reportan solo un CA. De los 56 CA, el 52.17% aceptan plásticos de un solo uso, como el polietileno de tereftalato (PET), y únicamente el 3% acepta vidrio [8].

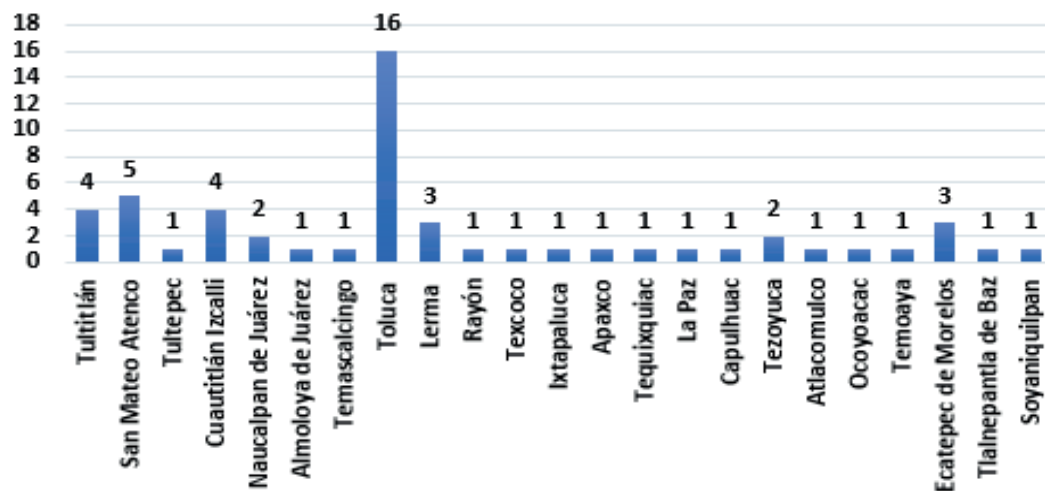


Figura 1. Centros de Acopio existentes en municipios del Edo.Mex.

Comparando los residuos valorizables que ingresaron en 2020 y en 2022, se encontró un crecimiento significativo en el aprovechamiento de papel y cartón; sin embargo, la recuperación de plásticos se redujo a la quinta parte (Figura 2) [1, 7].

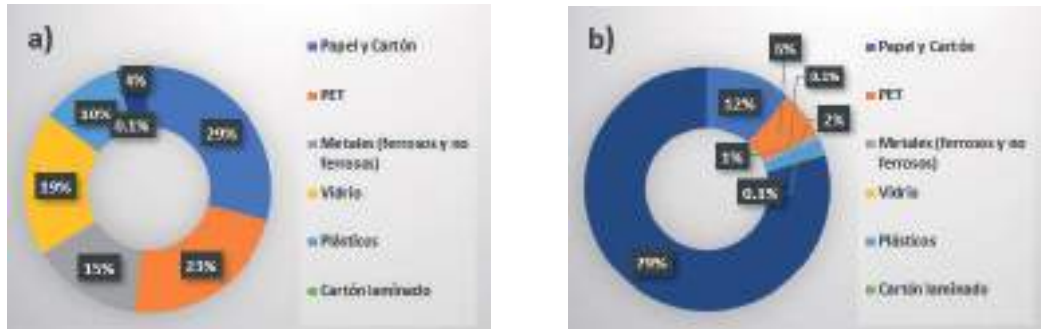


Figura 2. Valorizables recibidos en Centros de Acopio: a) DBGIR 2020 y b) ANRSU 2022

4. Conclusiones

Las administraciones de los ayuntamientos deben reportar información detallada de los CA ubicados en su delimitación municipal, incluyendo el número total de estos, con sus razones sociales y direcciones. Asimismo, incluir los reportados por INEGI, SEMARNAT, INECC y SIREM en sus planes y bandos municipales, para que sirvan como línea base y sea posible su actualización. Debido a que el 71.52% de los municipios en el Edo. Mex. carece de MIRSU, existen áreas de oportunidad importantes que deben atenderse como prioridad.

5. Referencias

- [1] SEMARNAT e INECC, “Diagnóstico Básico para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Ciudad de México, México, (2021).
- [2] [W. Christine, “El sector informal en la separación del material reciclable de los residuos sólidos municipales en el Estado de México”, GTZ, Estado de México, México, (2020).
- [3] SEMARNAT, “Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos”, DOF, Ciudad de México, México, (2020).
- [4] R.B. Lorena, “Guía para la apertura y operación sustentable de centros de acopio de residuos en el estado de Puebla”. Universidad Iberoamericana de Puebla, Puebla, México, (2019).
- [5] INEGI, “Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales”, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Ciudad de México, México, (2019).
- [6] SEMARNAT, “Compendio de Estadísticas Ambientales”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México, México, (2022).
- [7] SEMARNAT e INECC, “Atlas Nacional de Residuos Sólidos Urbanos”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Ciudad de México, México, (2022).
- [8] SEMAEM, “Portal de consulta del Sistema Integral de Residuos del Estado de México”, agosto 2023. [WEB]. Disponible en: <http://187.188.85.202:8095/consulta-sirem/acopio/consulta?municipio=-1&offset=50&showResult=1>

Emisiones en 2022 de CO₂e del Relleno Sanitario de Tenango del Valle, Estado de México

Hernández Contreras, Gisela Inés¹, Hernández Berriel, María del Consuelo¹, Díaz Archundia, Laura Verónica¹, Mañón Salas, María del Consuelo¹, Illescas Martínez, Francisco Javier¹

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de México, México.

mhernandezb@toluca.tecnm.mx

Resumen. Los Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (GyCEI) son causantes del cambio climático, por lo que es importante que cada sector en México reporte sus emisiones al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, quien por medio del Inventario Nacional publica dichos reportes. El 72% de los residuos sólidos urbanos (RSU) y de manejo especial (RME) generados a nivel nacional se “elimina” en un sitio de disposición final (SDF), que preferentemente debe ser un relleno sanitario (RESA). En los SDF por el proceso de biodescomposición se generan GyCEI, sin embargo son escasos los informes particulares, por lo que en este trabajo se calcularon las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) del RESA de Tenango del Valle del Estado de México del año 2022, conforme a lo reportado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en Ingles) y por FIME, organización no gubernamental chilena. Resultó que la estimación rápida con USEPA tiene menos incertidumbre, ya que se comparó el resultado con las obtenidas con las directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), que es más rigurosa. Se estimó que el RESA de Tenango del Valle emitió 6.9 Gg de CO₂e en el año 2022. El contar con esta estimación coadyuva a establecer estrategias de mitigación para proyectar una gestión sustentable de los RESA.

Palabras clave: Emisiones de CO₂ equivalente, Metodología IPCC, Residuos Sólidos Urbanos, Sitios de Disposición Final.

1. Introducción

El 72% de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México son “eliminados” en Sitios de Disposición Final (SDF), mediante la tecnología de Relleno Sanitario (RESA); lo anterior se atribuye a que es económica y sencilla operacionalmente, sin embargo no se garantiza que se eviten las

infiltraciones de los lixiviados al suelo y a mantos acuíferos, así como que por biodescomposición se produzcan cantidades significativas de Metano (CH_4), Dióxido de Carbono (CO_2) y partículas, los cuales son contaminantes; considerados Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (GyCEI) que provocan el cambio climático [1,2].

El Inventario Nacional de emisiones de GyCEI del 2019 reportado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), mencionó que México aportó 736.63 millones de toneladas de CO_2 equivalente ($\text{Mt CO}_2\text{e}$), de las cuales el 7% fueron emitidas por el sector Residuos, teniendo la disposición de residuos sólidos un aporte del 3% [3]. Se han realizado estimaciones de las emisiones de CH_4 en el sector de Residuos en SDF, como el trabajo de [4], que reporta una generación anual en pozos de venteo de $624.06 \text{ E-7 kg de CH}_4 / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{t}$ de RSU en un RESA y de $39.89 \text{ E-7 kg de CH}_4 / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{t}$ RSU en un sitio no controlado (SNC), este último también denominado “tiradero a cielo abierto” o “basurero”, que no cumple con los requisitos establecidos por la NOM-083-SEMARNAT-2003 [7]; como el trabajo de [5], que obtuvo emisiones anuales de CH_4 basadas en tres métodos: con Modelo Mexicano de Biogás (MMB) de 227 391 t de CH_4 / año, con Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en Inglés) model de 266 354 t de CH_4 / año y con Land GEM de 304 023 t de CH_4 / año; así como el trabajo de [6], que estimó 378.93 Gg de CO_2e para un RESA en Guerrero con el MMB.

El Estado de México encabeza la lista de las entidades federativas con una generación de 16 739 t/día de RSU y 71 SFD en 2020, de los cuales solo 18 quemaban el biogás generado [1], y son escasos los sitios que reportan sus GyCEI, por lo que el objetivo de este trabajo fue estimar las emisiones de CH_4 en unidades de CO_2e , por la disposición de RSU y RME en el RESA de Tenango del Valle, Estado de México en el año 2022. Conocer estos datos permite coadyuvar al reporte de las emisiones del RESA en el inventario del INECC, así como establecer metas para mitigarlas.

2. Fundamentos teóricos

2.1 Cambio Climático

Las actividades humanas o antropogénicas han generado emisiones de GyCEI que se concentran en la atmósfera y provocan el cambio climático, que es el aumento de la temperatura del planeta de 1.11 ± 0.13 °C. Los principales GyCEI son CO_2 , CH_4 , Óxido Nitroso (N_2O), Hidrofluorocarbonos (HFCs), Perfluorocarbonos (PFS), Hexafluoruro de azufre (SF_6) y compuestos como el Carbono Negro (CN); este último es resultado de la combustión incompleta de los combustibles fósiles y de la biomasa [2].

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 1992 estableció que se debe reducir la cantidad de las emisiones de los GyCEI, y en el Artículo 12 del convenio indicó que cada país debe conocer cuánto está emitiendo y las actividades en las que se generan, por lo que el responsable en México de cuantificarlos es el INECC a través del Inventario Nacional de Emisiones de GyCEI [3]. En la Agenda 2030 reportada en 2015 se hizo evidente la urgencia de reducir los GyCEI, estableciendo los objetivos de sostenibilidad [7].

El INECC, presentó la actualización del Inventario Nacional de Emisiones de GyCEI 1990–2019, donde se muestran las contribuciones por sectores: el 64% correspondió al sector Energía (C1), 19% a Agricultura, Silvicultura y otros usos de la Tierra (C3), 10% a Procesos industriales y uso de productos (C2) y 7% al sector Residuos (C4) [3].

2.2 Sitios de Disposición Final

La NOM-083-SEMARNAT-2003 establece los criterios que debe cumplir un SDF y los define como un lugar donde se depositan los RSU y RME en forma definitiva. Los SDF son clasificados en RESA, que es una obra

de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los RSU y RME, con el fin de controlar a través de la compactación e infraestructura adicionales los impactos ambientales; Sitio Controlado es un sitio inadecuado de disposición final, que cumple con las especificaciones de un RESA en lo que se refiere a obras de infraestructura y operación, pero no cumple con las especificaciones de impermeabilización; y SNC, ya definido en la introducción [8].

2.3 Cálculo de las emisiones de CO₂ equivalentes

La metodología del IPCC 2006 permite identificar las categorías de las principales fuentes de emisiones y son las que se reportan en el Inventario Nacional. El sector Residuos se divide en Disposición final de los RSU (4A), Tratamiento biológico de los residuos sólidos (4B), Incineración y quema a cielo abierto (4C), y Tratamiento y descarga de aguas residuales (4D). Entre los GyCEI, el sector 4A aporta principalmente CH₄, ya que el CO₂ generado no se contabiliza por considerarse de origen biogénico y el N₂O es insignificante [2,3].

Para estimar las emisiones existen diversos métodos, como los reportados en la bibliografía [4-6], y aunque con menor precisión, también es posible hacer estimaciones directas usando valores establecidos por USEPA, que indica que una tonelada de desechos orgánicos o de comida que son enviados a un SDF generan 4.2 t de CO₂e [9]; o el valor indicado por [10], que reporta que una tonelada de basura orgánica produce 40 m³ de biogás.

3. Desarrollo del trabajo

El municipio de Tenango del Valle está ubicado al sur-poniente del Estado de México, tiene una población de 90 518 habitantes (hab) y un total de 25 398 viviendas. Cuenta con un SDF tipo RESA ubicado en la localidad Ejido de San Bartolomé Atlatlauca (Figura 1), que operó como SNC durante los años 1995 al 2014. Posteriormente, en 2016 se rehabilitó y desde entonces opera como RESA. Este sitio cuenta con geomembrana, cobertura, sistema de compactación eficiente, y cuenta con seis pozos de venteo de biogás, donde se quema el CH₄ para convertirlo a CO₂. El Plan de Desarrollo Urbano de Tenango reportó que la población generó 36 500 t/día de RSU en el 2022 y su frecuencia de recolección fue 91% [4,11,12].

Con la información anterior se calculó la cantidad de RSU y RME depositados en el RESA, como se muestra a continuación:



Figura 1. RESA de Tenango del Valle, Estado de México

Se llevó a cabo la caracterización física de una muestra de RSU en el RESA, tomada y homogenizada con ayuda de una retroexcavadora. Se obtuvo un peso volumétrico *in situ* de 176.46 kg/m³ mediante la NMX-AA-019-1985. Posteriormente, se tomó una muestra de 100 kg aproximadamente con el método de cuarteo (NMX-AA-015-1985) y se hizo la clasificación manual de subproductos (NMX-AA-022-1985) [8], obteniendo la composición que se presenta en la Figura 2, donde los porcentajes orgánicos fueron 19.01% Papel, Cartón

y envases de cartón encerado; 5.77% Textiles; 8.25% Residuos alimenticios; 1.06% Residuos de jardinería, y 13.98% pañal desechable, los cuales suman un total de 48.07% de Residuos Orgánicos (RO).

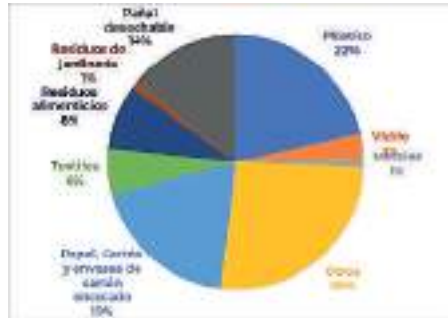


Figura 2. Caracterización de RSU del RESA de Tenango del Valle, Estado de México

Se realizó el cálculo de los RO depositados en el RESA como enseguida se muestra, considerando que se depositaron 12 123 t de RSU en el año 2022, las cuales contienen 48.07% de RO (Figura 2):

Tomando en cuenta que una tonelada de RO genera 4.2 t de CO_2e [9], y considerando que el 50% corresponde a CH_4 , el cual se quema con una eficiencia del 50%; a continuación, se presenta una estimación de las emisiones en el RESA de Tenango del Valle, tanto en toneladas como en Gigagramos (Gg):

$$Emisiones\ de\ CO_2e = 5827.5\ t\ de\ RO * 4.2\ \frac{t\ CO_2e}{t\ de\ RO} * 0.5 * 0.5 = 6118.9\ t\ de\ CO_2e$$

$$Emisiones\ de\ CO_2e = 6118.9\ t\ de\ CO_2e * \frac{1Gg}{1000\ t} = 6.2\ Gg\ de\ CO_2e$$

Asimismo, se realizó el cálculo de las emisiones, considerando que una tonelada de basura orgánica produce 40 m³ de Biogás [10], compuesto de 50% de CH_4 y 50% de CO_2 . Además se asumió el 50% de eficiencia de quema de dicho CH_4 .

El cual tiene una densidad en condiciones normales de [13] y un Potencial de Calentamiento Global (PCG) de 28 [2]. Los cálculos se muestran a continuación:

$$Emisiones\ de\ CO_2e = 5827.5\ t\ de\ RO * 40\ \frac{m^3\ de\ Biogás}{t\ de\ RO} * 0.5\ (CH_4) = 116\ 550\ m^3\ de\ CH_4$$

$$Emisiones\ de\ CO_2e = 116\ 550\ m^3\ de\ CH_4 * 0.5 * 0.657\ \frac{kg\ de\ CH_4}{m^3\ de\ CH_4} * \frac{1\ t\ de\ CH_4}{1000\ kg\ de\ CH_4} * 28 * \frac{1Gg}{1000t} = 1.07\ Gg\ de\ CO_2e$$

Cabe mencionar que aplicando la metodología del IPCC 2006, que es más rigurosa, el resultado de este ejercicio (50% de quemado) es de 6.9 Gg de CO_2e ; corroborando que la primera estimación, realizada con el

valor de la USEPA, es la que tiene menor diferencia, por lo que se recomienda utilizar en caso de que se necesite realizar estimaciones de manera rápida.

Se debe tener en cuenta que para las estimaciones se hizo la consideración de un 50% de quemado del CH₄ generado, lo cual representaría que solo la mitad del día se mantienen prendidos los pozos. Destaca la importancia del trabajo y supervisión que se realiza en el RESA de Tenango del Valle, donde los pozos se mantienen prendidos todo el tiempo, de manera que las emisiones de CH₄ son prácticamente de cero.

4. Conclusiones

El grado de error en las estimaciones realizadas depende del método y la confiabilidad de la información utilizada, corroborando mediante la metodología del IPCC 2006 que lo reportado por USEPA tiene menor incertidumbre y que es de suma importancia el registro de datos históricos de las actividades en los RESA.

La reducción de las emisiones de CO₂e en los SDF de los RSU requiere de la quema del CH₄ del Biogás para convertirlo en CO₂, debido a que el PCG de CH₄ es 28, mientras que el PCG de CO₂ es 1.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del Proyecto de Investigación “Propuesta para la operación de un relleno sanitario desde la perspectiva de la sostenibilidad”, con clave 18196.23-P, dentro del cual se ha realizado este trabajo.

5. Referencias

- [1] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos. 2020 [Online]. Available: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD003864.pdf>
- [2] IPCC, “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero; Volumen 5: Desechos,” Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2006. [Online]. Available: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol5.html>. [Accessed: 01-jul-2023].
- [3] Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático (INECC), “Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero” julio 2023 [Online]. Available: <https://www.gob.mx/inecc/articulos/presenta-inecc-el-inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-1990-2019-284532?state=published> [Accessed: 01-jul-2023].
- [4] Díaz-Archundia L.V., Buenrostro-Delgado O., Mañón-Salas M. del C., Hernández-Berriel M. del C. Emisión de gases de efecto invernadero de residuos sólidos urbanos en dos diferentes sitios de disposición final en México. In: Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XVIII (número 2), pp.149-159 (2017)
- [5] Hernández M. A., Dávila G. J., Mugica A. V. Estimación de emisiones atmosféricas provenientes de vertederos de residuos sólidos urbanos. Discusión caso Valle de México. In: Revista Iberoamericana de Ciencias. pp. 57-68 (2017)
- [6] Salmerón-Gallardo Y. A., Cabrera-Cruz R. B. E., Juárez-López A. L., Sampedro-Rosas M. L., Rosas-Acevedo J. L., Rolón-Aguilar J. C. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos. Huella de Carbono en Acapulco, México. In: Revista Iberoamericana de Ciencias. pp. 69-79 (2017)
- [7] Organización de las Naciones Unidas. La Agenda para el Desarrollo Sostenible [Online]. Available:

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/> [Accessed: 01-jul-2023].

- [8] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Leyes y normas mexicanas 2021. Available at <https://www.semarnat.gob.mx/gobmx/biblioteca/nmx.html>
- [9] Agencia para la Protección Ambiental 2015 [Online]. Available <https://energia-on.com/reduzca-su-huella-de-carbono/#:~:text=Una%20tonelada%20de%20desechos%20org%C3%A1nicos%20o%20de%20comida%20que%20son,4.2%20toneladas%20de%20CO2%20equivalente>. [Accessed: 20-jul-2023].
- [10] FIME Organización no gubernamental Chilena 2014, [Online]. Available fima.cl/2014/04/29/por-que-no-estamos-generando-electricidad-con-la-basura-que-se-genera-en-chile/#:~:text=El%20metano%20acumulado%20es%20posteriormente,decir%2C%205%20kw%2Fh/ [Accessed: 20-jul-2023].
- [11] Estado de México. Tenango del Valle 2023, [Online]. Available <https://estadodemexico.com.mx/municipio/tenango-del-valle/> [Accessed: 20-jul-2023].
- [12] Gobierno del Estado de México. Portal de Consulta del Sistema Integral de Residuos del Estado de México. 2023 [Online]. Available: <http://187.188.85.202:8095/consulta-sirem/> [Accessed: 18-jul-2023].
- [13] Precio Gas. ¿Qué es el gas natural? Fórmula y composición [Online]. Available: <https://preciogas.com/instalaciones/gas-natural/composicion> [Accessed: 30-jul-2023].

Presencia de microplásticos en el río de Chalma

Rivera Gutiérrez Esmeralda¹, Martínez Gallegos María Sonia Mireya¹, Illescas Martínez Francisco Javier¹, Villegas Camacho Octavio¹

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bella-vista, CP 52149, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de México, México.
esmeralda.rg@toluca.tecnm.mx

Resumen

El río Tlaxipehualco pasa por el Santuario de Chalma; es de gran interés debido a que sus aguas son usadas para el consumo humano, y con fines de esparcimiento para los visitantes, lo que ha llevado al acondicionamiento de algunos espacios para que la gente tenga acceso a algunas áreas del río, ocasionando que en estas zonas se acumule basura, por un mal manejo de residuos. Además de las descargas de drenajes de negocios y casas cercanos a esta cuenca, que representan un problema adicional, por lo que el presente trabajo muestreó el agua de este río en los puntos más representativos, considerando los siguientes criterios: el nacimiento del río por la pureza del agua, y la interacción de la gente con el río, así como el comercio del lugar; los muestreos se realizaron en septiembre del 2022 y en marzo del 2023. Los parámetros determinados fueron pH, DBO₅, y se buscó la presencia de microplásticos (MP), ya que es un contaminante emergente ocasionado por la degradación de plásticos de mayor tamaño. Los resultados mostraron que el pH está dentro de los parámetros aceptables, al igual que la DBO₅; con respecto a los microplásticos, se encontró que todos los puntos muestreados poseen MP, los cuales aumentan en las zonas donde la gente interactúa con el río.

Palabras clave: microplásticos, Chalma, Río.

1. Introducción

La presencia de los microplásticos en el medio ambiente ha generado gran preocupación, debido a que apenas comienzan a verse los efectos de este contaminante en el medio ambiente, es por esta razón que es considerado un contaminante emergente; se sabe que los microplásticos son partículas pequeñas que tienen tamaños que van desde 0.1 μm a 5 mm.¹ Este tamaño les permite distribuirse en amplias zonas del planeta, ya que estas partículas pueden ser transportadas por aire, tierra y agua, cuyos efectos en el ambiente recientemente están siendo estudiados.

Los primeros estudios realizados fueron en el océano, por ejemplo: Thompson y colaboradores en 2009 realizaron un estudio de sedimentos marinos en México, y reportó que encontró en promedio 547 unidades de microplásticos por kilogramo de sedimento y la concentración de MP en agua fue de 2970 unidades por m³; por otro lado, la Revista de la Academia Mexicana de Ciencias en 2022 informó que en promedio se encontraron 4.5 unidades de MP/individuo en organismos marinos (peces).²

Sin embargo, los estudios realizados en agua dulce son escasos, y más aún en México, donde casi no hay nada reportado al respecto; es por esta razón que el presente trabajo tuvo como objetivo extraer y cuantificar microplásticos del río de Chalma, que es sumamente concurrido, sus aguas son usadas para consumo humano y con fines recreativos, ya que la gente al visitar este santuario también acude a refrescarse y divertirse en sus aguas que rodean el santuario, por lo que esta zona está rodeada de puestos de comida, recuerdos, dulces típicos y ropa de baño.

Desafortunadamente, en este lugar pasa lo mismo que en muchas zonas turísticas, y es que se acumula mucha basura pero no se tiene una buena disposición de estos residuos, en su mayoría plásticos, lo que podría suponer la presencia de microplásticos en esta zona, por lo que se espera encontrar en este río la presencia de microplásticos, y de esta manera contribuir al estudio de este contaminante, ya que en este lugar no hay nada reportado con respecto a MP.

2. Fundamentos teóricos

Los microplásticos pueden originarse de dos maneras: la primera, cuando se fabrican directamente en tamaño micrométrico para su implementación en productos de limpieza, cosméticos, pinturas, exfoliantes y pasta de dientes; entonces se conocen como MP primarios³.

La segunda es cuando se forman por la fragmentación de plásticos de mayor tamaño que son liberados en el medio ambiente, los cuales en condiciones ambientales sufren varios procesos de fotooxidación y oxidación térmica, después de su interacción con la radiación solar, así como la abrasión mecánica en el medio ambiente; a estos se les denomina MP secundarios⁴.

Uno de los principales problemas que ocasionan los microplásticos es que debido a su tamaño pueden ser ingeridos de manera involuntaria y entrar a la cadena alimenticia, e incluso se tienen datos que demuestran que los MP pueden retener en su estructura sustancias tóxicas en su superficie; un ejemplo de estas son los aditivos químicos (ftalatos), pesticidas y sustancias como biocidas, hidrocarburos poliaromáticos, que posteriormente pueden ser liberados⁴.

3. Desarrollo del trabajo

Se muestrearon seis puntos diferentes del río de Chalma en dos periodos diferentes; el primer muestreo se realizó el 25 y 27 de septiembre del 2022, y el segundo muestreo fue el 6 y 8 de marzo del 2023, con la finalidad de comparar los resultados obtenidos con respecto al caudal del río en periodo de sequía y de lluvias.

Las muestras se tomaron en frascos de vidrio de 2L y en un frasco de 250 mL que tiene tapa de vidrio, mejor conocido como winkler; el pH se determinó en el punto de muestreo con un potenciómetro portátil; las muestras se trasladaron en una hielera a 4 °C.

Posteriormente, para determinar la presencia de microplásticos, se filtró 1 litro de agua del río usando una membrana de celulosa de 0.45 µm de tamaño de poro, donde quedan retenidos los microplásticos, se eliminó la materia orgánica con peróxido de hidrógeno al 30% y se dejó secar la membrana a temperatura ambiente en

cajas Petri de vidrio, para posteriormente observarse en un microscopio y medir el tamaño de los microplásticos y observar su color.

Para la determinación de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), se realizó con base a la norma oficial mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001. Se determinó primero el oxígeno disuelto en la muestra, se le agregan a 150 mL de muestra una cantidad conocida de microorganismos para después dejarlos incubando por 5 días a 37 °C y se mide al final el oxígeno disuelto del proceso, y de esta manera se puede calcular la cantidad de oxígeno consumida por los microorganismos en 5 días. Los resultados de los dos muestreos en seis puntos diferentes se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Puntos muestreados y parámetros determinados

Parámetros	pH		Microplásticos (microplásticos/L)		DBO ₅ (mg/L)	
	1er muestreo. Septiembre 2022	2do muestreo. Marzo 2023	1er muestreo. Septiembre 2022	2do muestreo. Marzo 2023	1er muestreo. Septiembre 2022	2do muestreo. Marzo 2023
Punto 1	7.89	8.17	1	15	0.039	0.019033
Punto 2	7.96	7.75	0	8	0.048	0.022433
Punto 3	7.84	7.99	3	12	0.061	0.0219
Punto 4	7.9	7.99	16	31	0.038	0.019433
Punto 5	8.04	8.35	15	26	0.041	0.018167
Punto 6	6.76	7.93	9	10	0.032	0.017233

Se puede apreciar que el pH va de 6.76 a 8.35, lo que indica que cumple con esta especificación sanitaria química, ya que la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano, indica que el límite permisible de pH es de 6.5 a 8.5. Con respecto a la DBO₅, la norma oficial mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001 la define como una estimación de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos presentes en el agua para consumir la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. Los resultados muestran que este parámetro es mayor en el primer muestreo en comparación con el segundo muestreo; esto puede deberse a que en el primer muestreo el nivel de agua era mayor que en el segundo muestreo, que corresponde al periodo de lluvias; sin embargo, debido a los cambios climáticos del planeta por el calentamiento global, en el mes de marzo del 2023 azotó al país una ola de calor y el periodo de lluvias se desplazó varios meses, por lo que el caudal del río disminuyó considerablemente e influyó en el DBO₅ y en la concentración de microplásticos encontrados. Esto se puede apreciar en las fotos (Figura 1).



Figura 1. Fotos de los dos muestreos. a) Punto 1, b) Punto 2, c) Punto 3, d) Punto 4, e) Punto 5, f) Punto 6

Al comparar el caudal del río, que fue mayor en el primer muestreo, en comparación con el segundo muestreo, se puede observar en la Tabla 1 que la carga de materia orgánica fue mayor en el primer muestreo, por lo que la DBO₅ fue más alta y la cantidad de microplásticos fue menor, en comparación con el segundo muestreo; esto puede deberse a las corrientes del agua del río, que eran más fuertes en el primer muestreo.

El Punto 4 es el que posee la mayor cantidad de microplásticos encontrados por litro de agua en ambos periodos de muestreo; esto podría deberse a que este punto es la parte posterior de donde se encuentran las albercas del santuario de Chalma, y hay una gran acumulación de basura tanto plástica como orgánica, además de que también se encuentra una descarga de aguas negras. Por otro lado, el punto que menor cantidad de microplásticos contiene en ambos muestreos es el etiquetado como Punto 2.

En la Figura 2 se pueden observar algunas fotografías representativas de los distintos tipos de microplásticos encontrados en los puntos de muestreo; los tamaños van de 131 a 4098 μm ; los colores encontrados son azul, morado, blanco, transparente, amarillo, gris y negro.

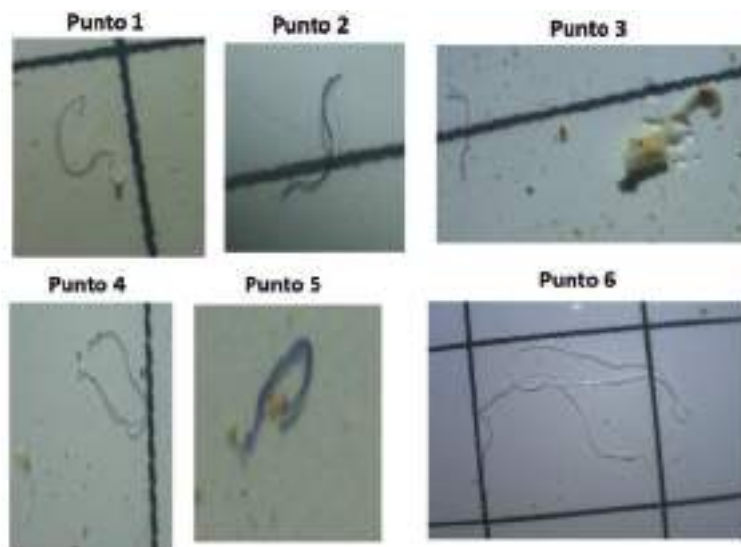


Figura 2. Fotos de los diferentes tipos de microplásticos en los distintos puntos de muestreo

4. Conclusiones

El agua del río de Chalma contiene microplásticos, los cuales se evidencian en este trabajo. No se encontró una relación directa entre el pH, DBO₅ y microplásticos, por lo que es importante complementar los parámetros monitoreados y anexar un estudio de turbidez, demanda química de oxígeno, alcalinidad, coliformes, entre otros, para poder definir si existe relación entre microplásticos y algún otro parámetro.

Agradecimientos: Se agradece el apoyo otorgado al proyecto “Determinación y cuantificación de microplásticos en agua en la presa de Valle de Bravo, Estado de México”, con clave 17239.23-P, y a la beca CONAHCYT.

5. Referencias

- [1] Thompson RC, Swan SH, Moore CJ, Vom Saal FS. Our plastic age. Vol. 364, Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. Royal Society; p. 1973–6. (2009)
- [2] Revista de la Academia Mexicana de Ciencias. Contaminación por microplásticos. Rev. la Acad Mex Ciencias. 2022;73(2). (2022)
- [3] Carlos PI, Flores E. POLÍMEROS VS. PLÁSTICOS, Revista electrónica No 14, ISSN: 2076-3166; p.51-60 (2009)
- [4] Castañeta G, Gutiérrez AF, Nacaratte F, Manzano, Carlos A. Microplastics: A Contaminant That Grows in All Environmental Areas, Its Characteristics and Possible Risks to Public Health from Exposure. Rev Boliv Química. 2020; 37(3).2
- [5] NMX-AA-028-SCFI-2001, Análisis de agua–determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO₅) y residuales tratadas, p. 1-20 (2001). Diario Oficial de la Federación
- [6] Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. (2022). Diario Oficial de la Federación

Contaminación por microplásticos y sus aditivos en el ambiente

Reyes García Francisco Agustín¹, Martínez Tavera Estefanía², Martínez Gallegos Sonia¹, Illescasm Javier^{1,*}

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Av. Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bellavista, 52166, Metepec, México.

² Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Av. 21 Sur, 1103, Barrio de Santiago, 72410, Puebla, México.
fillescasm@toluca.tecnm.mx

Resumen. En este trabajo se realizó una búsqueda de información acerca del daño y contaminación que pueden causar los aditivos que contienen los microplásticos, ya que estos fragmentos inferiores a 5 mm provenientes de plásticos de mayor tamaño contienen diferentes tipos de sustancias que les proporcionan a los polímeros cualidades tales como durabilidad, resistencia a la inflamabilidad, dureza, flexibilidad, entre otros. Además, dependiendo del propósito que deban cumplir, los microplásticos y sus aditivos terminan formando parte del ambiente y representan un riesgo para los seres vivos y su entorno, ya que ambos se pueden encontrar en sedimentos, cuerpos de agua y aire. Por último, estos contaminantes también se pueden introducir dentro de la cadena alimenticia al momento en que los animales ingieren estas pequeñas partículas de plástico.

Palabras clave: microplásticos, aditivos, contaminación.

I. Introducción

En la actualidad, los microplásticos se encuentran en diversos productos de higiene personal, detergentes, rellenos de almohadas, esferas de unicel, así como también en el producto del desgaste de llantas, ropa, garrafones para productos químicos, etc. Estos pueden afectar a los seres vivos a través de su inhalación, en el caso de partículas fibrosas menores a 5 mm, pues pueden depositarse en los pulmones (Vianello *et al.*, 2019). También a través de la ingestión y contacto dérmico, estos contaminantes pueden conducir a lesiones inflamatorias crónicas, ya que muchos poseen formas filosas que podrían causar irritación y heridas (Cox *et al.*, 2019). Además, pueden causar grandes alteraciones en los gusanos marinos, los cangrejos y las almejas, por mencionar algunos ejemplos de animales marinos, ya que estas partículas ocupan un espacio en su sistema digestivo que los lleva

a una disminución en la ingesta de alimentos (Prata *et al.*, 2019). Esta es una forma en la que se introducen dentro de la cadena alimenticia, ya que al momento en el que los seres humanos se alimentan de este tipo de animales entran en nuestra cadena trófica, pues estas partículas son consideradas contaminantes persistentes y bioacumulables (Shurti *et al.*, en 2019).

Finalmente, es importante mencionar que los microplásticos contienen otro tipo de compuestos orgánicos capaces de mejorar las propiedades de los productos originales y que reciben el nombre de aditivos; y es la liberación de estos compuestos un proceso no deseado tanto para quien fabricó el plástico como para el medio ambiente, debido a que la pérdida de los aditivos acorta la vida útil del material y los organismos vivos quedan expuestos a estos reactivos (Hong *et al.*, 2018), por lo que es importante dar a conocer algunas enfermedades, infecciones y las alteraciones que pueden causar.

2. Fundamentos teóricos

Los microplásticos son pequeñas piezas de plástico de tamaños inferiores a 5 mm, que generalmente se pueden encontrar en ríos, lagos, mares y océanos y que son acarreados por las descargas de los drenajes, las escorrentías y los accidentes marítimos, así como también por los eventos de inundaciones extremas, que tienen el potencial de movilizar plástico que de otro modo no se transportaría al océano; esto provoca serios daños a una gran parte del ambiente (UNEP, 2021).

La ingesta de microplásticos por parte de los seres humanos se puede deber a la biota acuática, principalmente los mariscos y los peces, quienes pueden causar serias amenazas a las comunidades costeras e indígenas en donde las especies marinas son la principal fuente de alimento de estas poblaciones, ya que organismos marinos, aves, tortugas, invertebrados y algunos mamíferos marinos son directa e indirectamente susceptibles al consumo de microplásticos (Chandra *et al.*, 2020).

El principal problema de los microplásticos es su tamaño, ya que es complicado removerlos del agua, y sirven como medio de transporte para otros contaminantes como metales, los cuales se adhieren a la superficie de la micropartícula cuando está oxidada. Además, se tiene registro de contaminantes orgánicos, así como de productos químicos orgánicos tales como compuestos bifenil policlorados (PCB), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), diclorodifeniltricloroetano (DDT) y hexaclorociclohexano (HCH), mientras que los ingredientes de los productos químicos liberados por los microplásticos son principalmente bisfenol A (BPA) y algunos ésteres de difenilo polibromados (PBDE) (Perera, 2017). Por su parte, en 2019, Shurti *et al.* realizaron un estudio de recolección de microplásticos en 29 sitios diferentes de sedimentos pertenecientes a la cuenca del río Atoyac de la ciudad de Puebla en México, siendo la concentración más alta la de 900 ± 346.12 partículas/kg, las cuales fueron analizadas por microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) y por la técnica de espectroscopia de dispersión de rayos X (EDS, por sus siglas en inglés), que fueron capaces de demostrar la presencia de varios metales, adsorbidos, adheridos o como aditivos en su superficie, entre los que se incluyen el Al, Fe, Mg, Ca, Na, Si, Ti, S, Cl y P, lo que puede causar un problema para la biota, ya que la transferencia de metales pesados a través de la ingestión de microplásticos podría resultar en su bioacumulación y en su biomagnificación para este tipo de biota.

3. Desarrollo del trabajo

Los materiales plásticos modernos pueden contener una amplia gama de aditivos que les proporcionan propiedades específicas, tales como fotoestabilización, plastificación para la flexibilidad, propiedades antioxidantes,

color y pigmentación, retardo a la flama, relleno, actividad biocida y residuos catalíticos, entre otras, tal y como se muestra en la Tabla 1 (Kwon *et al.*, 2017).

Tabla 1. Productos químicos lixiviables de plásticos

Aditivo	Tipo
Plastificante de ftalatos, ftalato de mono-metilo (MMP), ftalato de dimetilo (DMP), ftalato de dietilhexilo (DEHP), ftalato de butilbencilo (BBzP), ftalato de monobutilo (MBP), ftalato de dibutilo (DBP)	Plastificante
Alquilfenoles, fosfitos de trisnonilfenol (TNP), nonilfenol (NP), octilfenol (OP)	Plastificante / estabilizador

Bisfenol A (BPA)	Monómero / aditivo
Compuestos de organoestaño, carboxilatos de mono-en dialquilestaño	Estabilizador
Compuestos de éteres de difenilo polibromados (PBDEs), tetrabromuro del bisfenol A (TBBPA)	Retardante de llamas

El BPA ha sido ampliamente investigado con respecto a su toxicidad y ha mostrado efectos adversos incluso en dosis bajas tanto en humanos como en animales, considerándose una sustancia química típica que altera el sistema endocrino, causando toxicidad en el agua y potencial de bioacumulación, ya que Barboza *et al.*, en 2020, realizaron un estudio sobre la posible relación entre las concentraciones de bisfenol y la contaminación del pescado con microplásticos. En este estudio, todos los peces de todas las especies tuvieron la presencia de BPA, lo que sugiere una relación entre los microplásticos y la contaminación por este aditivo, ya que en todas las especies la concentración de bisfenol se correlacionó con una mayor ingesta de microplásticos.

Por otro lado, los ésteres de ftalato (PAE) son los principales tipos de plastificantes aplicados a la fabricación de plástico que pueden ser fácilmente lixiviados al ambiente durante la producción y consumo de materiales plásticos que pueden generar alteraciones endocrinas, reproductivas, así como carcinogenicidad, ya que varios estudios previos demostraron que los PAE y sus metabolitos tienen efectos dañinos sobre los organismos y ecosistemas al alterar la función fisiológica de las hormonas en los órganos endocrinos de los seres vivos (Zhang *et al.*, 2021). La posible toxicidad humana por los PBDE, encontrados en plástico de televisores y computadoras, puede incluir potencia estrogénica, interferencia con el equilibrio de la hormona tiroidea y contribución a déficits del desarrollo neurológico, ya que estos son productos químicos altamente bioacumulables y se clasifican como disruptores endocrinos que causan trastornos reproductivos y hepatotoxicidad; además de observar algunos síntomas tales como alteraciones neuroconductuales y lesiones no neoplásicas en experimentos con animales (Lee *et al.*, 2015).

Otro tipo de aditivo contenido en los plásticos es el tetrabromuro del bisfenol A (TBBPA), el cual se puede acumular en el organismo debido a su lipofilicidad, causando hepatotoxicidad, toxicidad reproductiva, neurotoxicidad, citotoxicidad e inmunotoxicidad para los organismos acuáticos; además, sus efectos conjuntos con los MP en el intestino humano siguen sin revelarse. Huang *et al.* (2021) realizaron un estudio para analizar el

efecto conjunto de las partículas de microplásticos de polietileno y el TBBPA en el intestino humano, explorando mediante un experimento de simulación *in vitro* con células humanas Caco-2 y microbiota intestinal. La selectividad del TBBPA inhibió el crecimiento de bacterias como *Enterococcus* y *Lactobacillus* que sirven para proteger al organismo de infecciones por bacterias patógenas, lo que contribuyó al desarrollo de bacterias que crean infecciones en el intestino, tales como *Escherichia* y *Bacteroides*. Por último, se observó que los microplásticos derivados del polietileno, tales como el TBBPA, debilitaron la vitalidad de las células Caco-2, cuya función es crear una barrera natural de defensa contra los microorganismos.

4. Conclusiones

Los microplásticos son contaminantes persistentes y bioacumulables que al mismo tiempo sirven como medios de transporte para otras sustancias y que a la vez pueden liberar sus aditivos al ambiente, dañando de esta forma a grandes cantidades de seres vivos. Además de introducirse en la cadena trófica, existen especies animales que tienen la capacidad de acumular y liberar dentro de su cuerpo los microplásticos que consumieron, y estos pueden ser transmitidos en pequeñas dosis al ser humano. Por estas razones es importante seguir generando conocimientos en esta área de la investigación para buscar soluciones que sustituyan a los plásticos por otro tipo de materiales que disminuyan el uso de sus aditivos, ya que los polímeros se encuentran entre los materiales más utilizados por la sociedad y son una enorme fuente de contaminación.

Agradecimientos

Francisco Agustín Reyes García con número de CVU 957885 agradece por la beca asignada por CONAHCyT para poder llevar a cabo sus estudios de doctorado. Asimismo, los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México, TecNM, por el financiamiento obtenido a través del proyecto TecNM- 17239.23-P.

5. Referencias

- [1] Barboza, L. G. A., Frias, J. P. G. L., Booth, A. M., Vieira, L. R., Masura, J., Baker, J., Foster G., Guilhermino, L. Microplastics Pollution in the Marine Environment. *World Seas: An Environmental Evaluation*. 329–351 (2019)
- [2] Chandra, P., Enespa, & Singh, D. P. Microplastic degradation by bacteria in aquatic ecosystem. *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*. 431–467 (2020)
- [3] Cox K.D., Covernton G.A., Davies H.L., Dower J.F., Juanes F., Dudas S.E. Human Consumption of Microplastics. *Environmental Science and Technology*. 53(12). 7068-7074 (2019)
- [4] Hong, S. H., Shim, W. J., & Jang, M. Chemicals Associated With Marine Plastic Debris and Microplastics: Analyses and Contaminant Levels. *Microplastic Contamination in Aquatic Environments*. 271–315 (2018)
- [5] Huang, W., Yin, H., Yang, Y., Jin, L., Lu, G., & Dang, Z. Influence of the co-exposure of microplastics and tetrabromobisphenol A on human gut: Simulation *in vitro* with human cell Caco-2 and gut microbiota. *Science of The Total Environment*, 778, 146264. (2021)
- [6] Kwon, J.-H., Chang, S., Hong, S. H., & Shim, W. J. Microplastics as a vector of hydrophobic contaminants: importance of hydrophobic additives. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 13. 494–499 (2017)
- [7] Lee, S., Jang, Y.-C., Kim, J.-G., Park, J.-E., Kang, Y.-Y., Kim, W.-I., & Shin, S.-K. Static and dynamic flow analysis of PBDEs in plastics from used and end-of-life TVs and computer monitors by life cycle in

- Korea. *Science of The Total Environment*, 506-507, 76–85 (2015)
- [8] Perera, F. Pollution from Fossil-Fuel Combustion is the Leading Environmental Threat to Global Pediatric Health and Equity: Solutions Exist. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 15(1). 16 (2017)
- [9] Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. Environmental exposure to microplastics: an overview on possible human health effects. *Science of The Total Environment*. 702. 134455 (2019)
- [10] Shruti, V. C., Jonathan, M. P., Rodriguez-Espinosa, P. F., & Rodríguez-González, F. Microplastics in freshwater sediments of Atoyac River basin, Puebla City, Mexico. *Science of The Total Environment*. 654. 154–163 (2019)
- [11] UNEP From pollution to solution. A global assessment of marine litter and plastic pollution Nairobi. 30-70 (2021)
- [12] Vianello A., Jensen R.L., Liu L., Vollertsen J. Simulating human exposure to indoor airborne microplastics using a Breathing Thermal Manikin. *Scientific Reports* 9.8670 (2019)
- [13] Zhang, Z.-M., Wang, L.-Y., Gu, Y.-Y., Sun, A.-L., You, J.-J., Shi, X.-Z., & Chen, J. Probing the contamination characteristics, mobility, and risk assessments of typical plastic additive—phthalate esters from a typical coastal aquaculture area, China. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125931 (2021)

Situación de los sitios de disposición final de residuos en México

López Gasca, Sergio Omar¹, Hernández Berriel, María del Consuelo^{1*}, Lobo García de Cortázar, Amaya², Mañón Salas, María del Consuelo¹, Colomer Mendoza, Francisco José³

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca. Avenida Tecnológico sin número, Colonia Agrícola Bellavista, Metepec, C.P. 52149, Estado de México, México.

² Universidad de Cantabria. Avenida. de los Castros 44, C.P. 39005, Santander, España.

³ Universidad Jaume I. Avenida Vicent Sos Baynat, sin número, C.P. 12071, Castellón de la Plana, España.

Autora para correspondencia: mhernandezb@toluca.tecnm.mx

Resumen. La problemática de los residuos sólidos urbanos (RSU) en el mundo va en aumento, acompañada del ineficiente manejo, resaltando la etapa de la disposición final, donde en la mayoría de los casos no se tiene las precauciones para evitar la contaminación de los alrededores. Es por eso por lo que el presente trabajo tuvo por objetivo mostrar la situación de la disposición final en México. Para ello se realizó investigación documental y se analizó el estado en que se encuentran los lugares utilizados para ello, encontrando que de los RSU generados, solo el 72% llegan a sitios de disposición final (SDF), de los cuales el 67% son tipo D, donde la normatividad es menos estricta; además, no se pueden clasificar como Rellenos Sanitarios, Sitios Controlados o Sitios No Controlados; que el 28% del total de los SDF tienen una vida útil mayor a 5 años y el 66% cuentan con menos de un año de vida útil. Al cerrar más de la mitad de los SDF, se necesitarán nuevos lugares para depositar residuos, que, en la mayoría de los casos, al ser gestionados por los municipios, no resultan costeados por lo que terminan siendo SNC.

Palabras clave: Residuos, disposición final, vida útil.

1. Introducción

La generación de residuos sólidos urbanos (RSU) se ha incrementado a lo largo del tiempo, representando un grave riesgo para los ecosistemas y salud humana, debido a su volumen y complejidad cada vez mayor, asociada a la economía moderna. En el mundo se estima que se recolectan 11 200 millones de toneladas de residuos aproximadamente, siendo los residuos eléctricos y electrónicos el desafío de mayor crecimiento, debido a la complejidad de los contaminantes que contienen [1]. De acuerdo con el Diagnóstico Básico para la

Gestión Integral de Residuos (DBGIR), publicado por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Materiales (SEMARNAT), en 2020, en México se recolectaron 36 774 115 toneladas de residuos durante el 2017, que representan una cobertura del 83.87% de los residuos generados a nivel nacional [2].

El manejo integral de los residuos sólidos urbanos (MIRSU), de acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), consiste en la recolección, traslado, tratamiento y su disposición final [3]; y un resultado deficiente se origina por la falta de atención en cualquiera de sus etapas. En el caso de una disposición final ineficaz, la contaminación del agua, aire y suelo se detecta de inmediato [1]. En México, la disposición final de los residuos se puede realizar en tres tipos de sitios de acuerdo con la LGPGIR y la NOM-083-SEMARNAT-2003 [3] y [4]: Rellenos Sanitarios (RESA), Sitio Controlado (SC) y Sitio No Controlado (SNC). Por lo que el objetivo de este trabajo fue mostrar la situación de la disposición final de los RSU en México.

2. Fundamentos teóricos

La LGPGIR establece que los residuos son “materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final”. La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) debe establecer el correcto manejo de los RSU y residuos de manejo especial (RME) de acuerdo con la LGPGIR [3].

La GIRSU comprende, además del MIRSU, el Desarrollo y aplicación de la normatividad; la Educación y capacitación; la Planeación, desarrollo y administración de acciones para aprovechar y valorar los RSU y los RME; la Construcción de infraestructura como RESA o plantas de tratamiento; y el Monitoreo, supervisión y evaluación de las distintas acciones que se realizan [3].

El MIRSU se conforma por los subsistemas: generación, barrido, separación desde la fuente, recolección separada, transporte, transferencia, valorización, aprovechamiento y tratamiento y disposición final; con el propósito principal de manejar adecuadamente los RSU, cumpliendo con objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social, lo cual se traduce en la protección de la salud de la población y del medio ambiente [3].

Los sitios de disposición final (SDF) en México están regulados por la NOM-083-SEMARNAT-2003; estos pueden ser de tres tipos de acuerdo con la infraestructura y operación con la que cuentan, siendo los RESA los que cumplen con todas las condicionantes que menciona dicha norma; los SC cumplen con todo lo establecido a excepción de las especificaciones de impermeabilidad; y, por último, los SNC, que son los que no cumplen con los requisitos establecidos por la norma. Además de esta clasificación se cuenta con la que incluye las toneladas diarias de residuos que se reciben (Tabla 1) [4].

Tabla 1. Clasificación de los sitios de disposición final de acuerdo con las toneladas recibidas

Tipo de sitio		Recepción de residuos sólidos (ton/día)
A	A1	Mayor a 750
	A2	100-750
B		50-100
C		10-50
D		Menor a 10

De acuerdo con la NOM-083-SEMARNAT-2003, entre mayor sea la cantidad de residuos que reciben, son más los criterios que deben cumplirse, por ser mayor el riesgo de afectaciones al ambiente y a la salud. Los SDF tipo D son para los que menos requerimientos pide la normatividad [4].

Los SDF cuentan con una vida útil, la cual puede ser determinada tomando en cuenta la cantidad de residuos depositados, su grado de compactación, la cobertura con la que cuentan y la extensión del terreno. El estimar la vida útil de un SDF es crucial para conocer el tiempo que se puede seguir depositando residuos en dicho lugar [5].

3. Desarrollo del trabajo

Para elaborar este trabajo se realizó investigación documental sobre el MIRSU en México y la manera en que se lleva a cabo la disposición final de los RSU. Se consultaron fuentes oficiales, como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el Consejo de Cambio Climático, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). La información consultada fue analizada y organizada para presentarse de manera gráfica.

El manejo de los residuos en México por lo general se basa en las etapas de Generación, Recolección y Disposición final. En la Figura 1 se puede apreciar en los bloques color amarillo que mayor flujo de residuos recae en las tres etapas mencionadas; en color verde se muestran los tratamientos finales dados a los residuos; en color azul, las etapas de separación; y en color rojo, la cantidad de residuos cuyo destino final se desconoce [2].



Figura 1. Etapas del MIRSU en México

En México, de acuerdo con el DBGIR, se cuenta con 2203 SDF, de los cuales el 67% es tipo D y solo el 7% tipo A (Figura 2); sin embargo, solo 82 SDF cumplen con todas las características reportadas y 685 no cumplen con ninguna de ellas. En la Figura 3 se observa que ninguna de las características evaluadas rebasa el 50% de cumplimiento. Las que tuvieron un mayor porcentaje de cumplimiento fueron la Cerca (43.3%) y Compactación y cubrimiento de tierra (43.3%) [2].

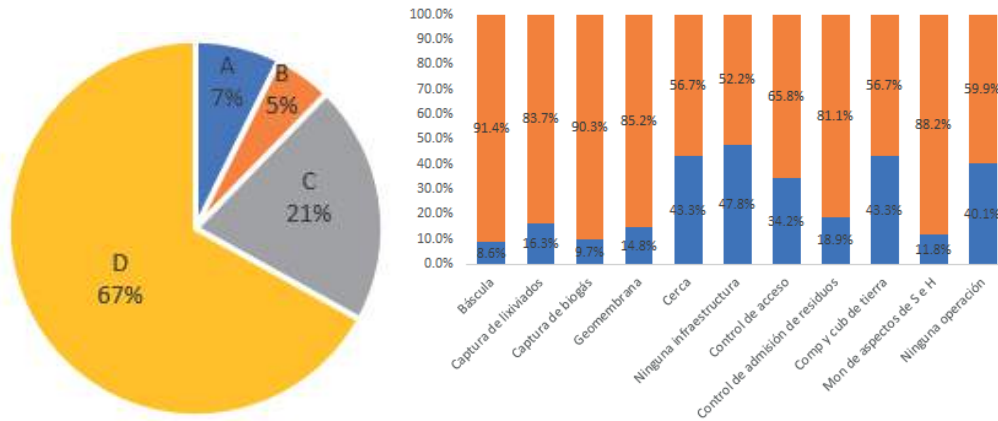


Fig. 2. Tipos de SDF en México **Fig. 3.** Cumplimiento de condicionantes de los SDF

Aunado al problema de que la mayoría de los SDF son de tipo D y que la mayoría no cumple con las condicionantes de la NOM-083-SEMARNAT-2003, el 66% cuenta con cero años de vida útil, 6% de 1 a 4 años, 8% de 6 a 10 y solo 20% más de 10 años (Figura 4).

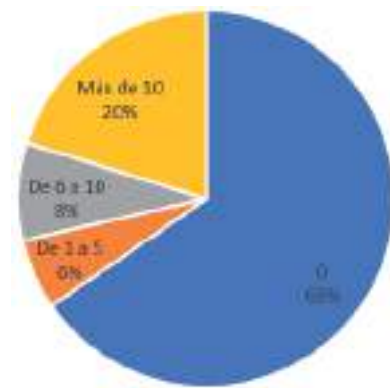


Fig. 4. Vida útil de los SDF en México

4. Conclusiones

La disposición final en México ha llegado a un punto crítico, en el cual la mayoría de los SDF no cumplen con las condicionantes exigidas por la NOM-083-SEMARNAT-2003.

La mayoría de los SDF están por cumplir su vida útil, lo cual, aunado a la escasa cultura de planear los SDF, incrementa el riesgo de que se generen nuevos sitios clandestinos tipo SNC.

5. Referencias

- [1] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Solid waste management, 2024. [Online] Available: <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/solid-waste-management>
- [2] SEMARNAT. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos. 2020 [Online]. Available: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD003864.pdf>

- [3] SEMARNAT, “Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos”, octubre 8, 2003.
- [4] Diario Oficial de la Federación. NOM-083-SEMARNAT-2003 Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Diario Oficial de la Federación (DOF), Ciudad de México, México, 20 de octubre de 2004.
- [5] AVINA y CARE, Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS), 2012. [Online] Available: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2018/CD002947.pdf>

MATERIALES Y ENERGÍA

Introducción a los sistemas de transmisión de Corriente Directa de Alto Voltaje

Aguilar Marín, Jorge Luis¹, Cisneros Villalobos, Luis¹, Hernández González, Daniel², Herrera Gutiérrez, Hugo¹

¹ Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Cuernavaca, Morelos, México.

² Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Toluca, Departamento de Metal-Mecánica, Metepec, Estado de México, México.
luis.cisneros@uaem.mx

Resumen. La tecnología de Corriente Directa de Alto Voltaje (HVDC) tiene características que la hacen especialmente atractiva en ciertas aplicaciones de transmisión. El número de proyectos en HVDC comprometidos o bajo consideración a nivel mundial ha aumentado en los últimos años, lo que refleja un interés renovado en esta tecnología probada en el campo. Los nuevos diseños de convertidores HVDC y las mejoras en el diseño HVDC convencional han contribuido a esta tendencia. Este documento proporciona una descripción general de los sistemas monopolares y bipolares.

Palabras clave: HVDC, líneas de transmisión, control del sistema de potencia, redes inteligentes.

1. Introducción

El sistema HVDC, como facilitador crítico en el futuro sistema energético basado en energías renovables, está remodelando la estructura del sistema de energía tradicional. En los últimos años, el desarrollo continuo en campos como la ciencia de los materiales, la electrónica de potencia y la tecnología de fabricación han mejorado significativamente la tecnología HVDC. El sistema HVDC también es eficiente y tiene muchas ventajas, incluida una buena estabilidad, baja pérdida de energía, pequeña interferencia a la red eléctrica y bajo costo de mantenimiento de la línea de transmisión [1]. Como tal, los sistemas HVDC están ganando popularidad en todo el mundo y constituyen un componente importante del último desarrollo del sistema de energía eléctrica.

La tecnología de transmisión HVDC ha demostrado ser más competitiva que los sistemas de Corriente Alterna de Alto Voltaje (HVAC), especialmente en largas distancias de transmisión de energía, interconexiones

asíncronas y cruces de cables submarinos largos. Los sistemas HVDC se están estudiando y desarrollando en varios países del mundo. Actualmente en México, se planea la futura instalación de líneas de transmisión HVDC, debido a las ventajas que presenta este tipo de tecnología sobre las líneas de transmisión HVAC, principalmente en la transmisión de energía eléctrica a largas distancias [2].

2. Fundamentos teóricos

Una transición a la operación de sistemas HVDC es principalmente ventajosa en términos de maximizar la utilización de los cables conductores, aumentar la capacidad de potencia transmitida y disminuir el efecto corona en comparación con la operación en HVAC.

La transmisión en HVDC se puede usar de manera eficiente para distancias de transmisión muy largas que superan los 3000 km, en comparación con los 1049 km para HVAC punto a punto. El sistema HVDC también requiere menos cables conductores y utiliza la capacidad de transmisión hasta sus límites térmicos. Esto reduce el área transversal requerida para los cables de HVDC y, en consecuencia, el costo de transmisión.

El espacio de derecho de vía (es decir, la distancia de separación del suelo horizontal requerida) para la transmisión en HVDC es menor en comparación con el equivalente en HVAC. La Figura 1 presenta un esquema de líneas de transmisión usadas en HVAC y HVDC para transmitir 6000 MW a una tensión de 800 kV.

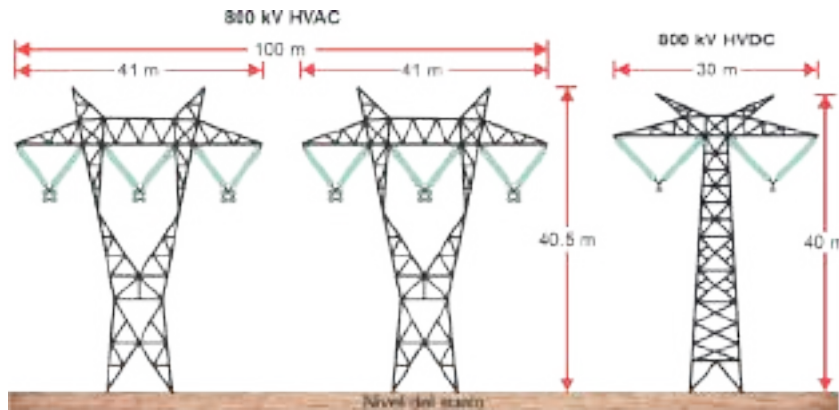


Figura 1. Configuración de líneas en HVAC y HVDC

La decisión de implementar un sistema en HVDC involucra un análisis económico, donde se deben considerar los costos de las líneas de transmisión, las estaciones convertidoras, la tecnología de los equipos, las pérdidas asociadas a un período de tiempo, además de los costos de mantenimiento y operación [3]. En la Figura 2 se presentan los costos de construcción y operación versus la longitud de los sistemas de transmisión en HVAC y HVDC para un mismo nivel de potencia mayor o igual a 1000 MW [4]. Existe un punto de equilibrio que determina la longitud en la cual construir y operar una línea en HVAC o en HVDC tiene el mismo costo; la longitud oscila en los 800 km. A una distancia de 0 km se tienen los costos de las subestaciones de ambos tipos de sistemas, y el aumento se comienza a producir como resultado del costo de la línea de transmisión aérea [1].

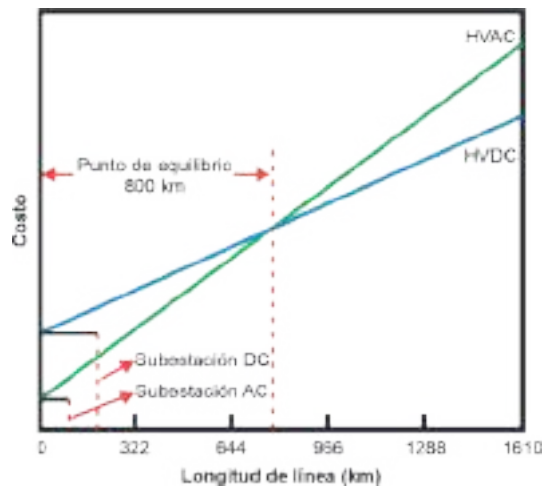


Figura 2. Comparación costo-longitud

3. Desarrollo del trabajo

Evaluación de configuraciones de transmisión en HVDC

Los sistemas HVDC se pueden conectar utilizando diferentes configuraciones de red. La selección de la configuración o la topología de la red en HVDC está influenciada principalmente por el nivel requerido de confiabilidad, clasificación, rentabilidad y el cumplimiento de las políticas y regulaciones locales. Las topologías comúnmente utilizadas de los sistemas de transmisión HVDC son monopolares y bipolares, los cuales se describen a continuación.

Configuraciones monopolares

La transferencia de energía entre las dos estaciones convertidoras utiliza un solo polo clasificado para la capacidad total en HVDC. El circuito de retorno puede ser una ruta de retorno de baja tensión (monopolar asimétrico), que puede realizarse utilizando un electrodo de tierra en cada estación, o un enlace de retorno metálico de baja tensión.

Los electrodos de tierra requieren consideraciones de diseño especiales para adaptarse a la corriente nominal; por lo general, se colocan lejos de las estaciones convertidoras y se conectan mediante líneas de electrodos. Esta opción es rentable y evita el uso de un cable conductor de retorno que se extiende por toda la longitud del enlace [1].

Sin embargo, varias regulaciones políticas restringen el uso de electrodos de tierra en muchos proyectos en HVDC debido a sus impactos ambientales negativos, especialmente en el caso de cables enterrados bajo tierra o submarinos: potencialmente causan corrosión en las tuberías cercanas y afectan a las criaturas marinas en el último caso. La Figura 3 ilustra un diagrama de una línea de transmisión de configuración monopolar.



Figura 3. Configuración monopolar

A continuación, se enumeran las principales desventajas de un sistema monopolar [1]:

1. Pérdida de la transmisión cuando se pierde el enlace.
2. Operación continua de los electrodos para el retorno por mar o tierra.
3. Efectos de la circulación de corriente en el suelo o mar (corrosión, contaminación, seguridad eléctrica).

Configuraciones bipolares

La configuración bipolar es la más utilizada en la transmisión HVDC, ya que suele proporcionar una mayor fiabilidad. La Figura 4 ilustra un diagrama de una línea de transmisión de configuración bipolar [2].

Los convertidores de las configuraciones bipolares producen salidas de alta tensión iguales y opuestas, creando una ruta de flujo de energía normal en el circuito externo con un flujo insignificante en la conexión de tierra. La ruta de retorno de emergencia del punto medio se puede diseñar usando electrodos de tierra o un enlace de retorno metálico, similar al caso monopolar.

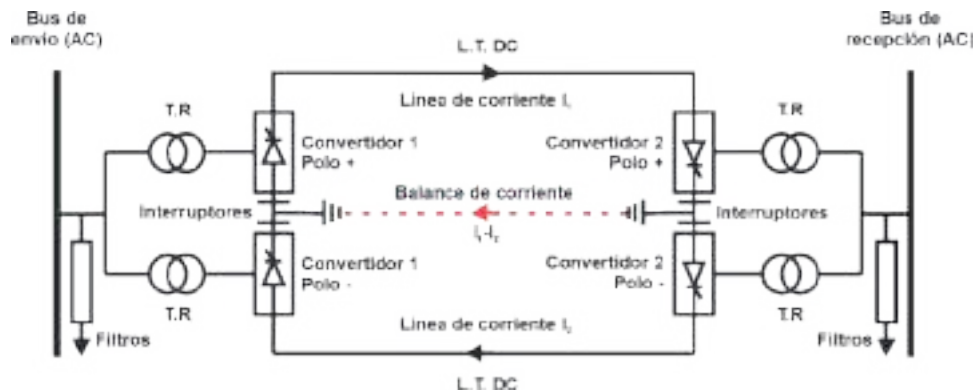


Figura 4. Configuración bipolar

La principal ventaja de las configuraciones bipolares es la mayor confiabilidad, que es análoga a una línea de transmisión en HVAC de doble circuito. Es decir, una falla en cualquier línea/cable de transmisión individual o polo del convertidor hace que solo ese enlace se apague de forma independiente.

En este escenario, siempre que la falla no afecte a los demás polos activos, el enlace neutro se usa como una ruta de retorno de bajo voltaje que permite la operación continua hasta del 50% de la capacidad total de energía en HVDC.

A continuación, se enumeran las principales desventajas de un sistema bipolar [1]:

1. Dado que los conductores de potencia deben estar aislados para la tensión de transmisión, el costo de la línea de transmisión es más alto que un arreglo monopolar.

2. Se duplica el porcentaje de pérdidas en la línea.
3. Confiabilidad reducida debido al uso de dos conductores expuestos en la transmisión y debido a interrupciones asociadas con las operaciones de la protección en el convertidor aislado de tierra.

Con base en los requerimientos de transmisión de energía en México, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la encargada de determinar, de manera preliminar, el tipo de estructura que emplear para una línea de transmisión en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

La Figura 5 presenta dos torres típicas utilizadas en líneas de transmisión aéreas monopolares y bipolares en HVDC.

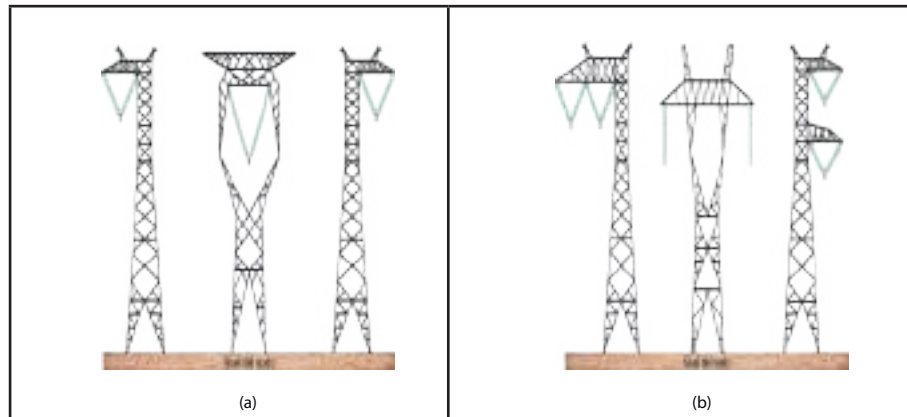


Figura 5. Torres de transmisión en HVDC (a) monopolares y (b) bipolares

4. Conclusiones

La transmisión HVDC puede ser la única opción viable o la más económica para el suministro masivo de energía a larga distancia, las interconexiones asíncronas y los cruces de cables submarinos largos. Las clasificaciones de potencia más altas y las tecnologías alternativas amplían los usos tradicionales y abren nuevas aplicaciones para la transmisión en HVDC, por ejemplo, transmisión de energía subterránea económica sin restricción de distancia, aplicaciones de energía en alta mar, alivio de la congestión y mitigación de la inestabilidad de voltaje.

5. Referencias

- [1] Q. Ma, K. Huang, Z. Yu, and Z. Wang, "A MEMS-based electric field sensor for measurement of high-voltage DC synthetic fields in air," *IEEE Sensors J.*, vol. 17, no. 23, pp. 7866–7876, December 2017.
- [2] J. Zheng, M. Wen, Y. Chen, and X. Shao, "A novel differential protection scheme for HVDC transmission lines," *Electrical Power and Energy Systems.*, vol. 94, pp. 171-178, January 2018.
- [3] CIGRE. "Impacts Of HVDC Lines On The Economics Of HVDC Projects," Joint Working Group B2/B4/C1,17. 2009.
- [4] M. Baharman, and B. Johnson, "The ABCs of HVDC transmission technologies," *IEEE Power and Energy Magazine.*, vol. 5, pp. 32-44. April 2007.

Simulación del impacto de un rayo en una línea de transmisión utilizando ATPDraw

Aguilar Marín, Jorge Luis¹, Cisneros Villalobos, Luis¹, Huesca Amador, Milton Dave², Hernández González, Daniel³

¹ Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Cuernavaca, Morelos, México.

² Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Ciudad de México, México.

³ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Toluca, Departamento de Metal-Mecánica, Metepec, Estado de México, México.
luis.cisneros@uaem.mx

Resumen. Se presenta el comportamiento de una línea de transmisión aérea de doble circuito de 400 kV debido a una descarga atmosférica. Se realizó el modelado de una sección de la línea de transmisión comprendida entre 5 torres de transmisión utilizando el procesador grafico ATPDraw del programa Alternative Transient Program (ATP), donde se simularon las sobretensiones presentes en las cadenas de aisladores de los circuitos de la línea debido al impacto de un rayo sobre un conductor de guarda. El estudio puede aplicarse en el desarrollo de líneas de transmisión para validar la coordinación de aislamiento ante el impacto de un rayo.

Palabras clave: alta tensión, descargas atmosféricas, líneas de transmisión, sistemas de potencia.

1. Introducción

Las líneas de transmisión son parte fundamental de los sistemas eléctricos, debido a que son las encargadas de transmitir la energía por el Sistema Eléctrico Nacional (SEN); por ello se debe asegurar su correcta operación.

Hoy en día, el público exige alta calidad de energía y confiabilidad en el suministro de las empresas eléctricas, que a menudo se ven restringidas en la renovación de las líneas de transmisión existentes o retrasadas en la construcción de nuevas líneas debido a las objeciones ambientales.

Muchas de estas empresas eléctricas consideran que los impactos por rayos causan al menos la mitad de todas las fallas en las líneas de transmisión aéreas y, por lo tanto, tienen un efecto perjudicial muy significativo en la calidad de la energía [1].

El desafío es encontrar una solución que pueda mejorar el rendimiento ante impactos de rayos de las líneas aéreas, pero que no tenga un impacto adicional en el medio ambiente.

Para hacer frente a este desafío, se necesita realizar un análisis de la coordinación de aislamiento para validar el nivel de aguante de la cadena de aisladores ante el impacto de un rayo.

2. Fundamentos teóricos

El programa ATPDraw fue elegido como entorno de modelado para la investigación. Con este programa se pueden representar en el dominio del tiempo todos los elementos esenciales de una línea de transmisión de alta tensión que son relevantes para el estudio de impacto de rayos.

La parte central de un modelo digital de una línea de transmisión típica para estudios de impactos de rayos comprende bloques que representan varias secciones de línea terminados en torres de acero que soportan los cables de fase y los cables de guarda.

Todos estos componentes se representan como modelos dinámicos que reproducen su comportamiento en las condiciones ante el impacto de un rayo.

Por lo tanto, se pueden modelar los elementos principales de la línea de transmisión y el impacto de un rayo a través del programa ATPDraw, el cual es una herramienta Open Source disponible en <https://www.atpdraw.net/>.

El elemento central por representar en estos estudios de impactos de rayos es la propia línea de transmisión como un elemento con parámetros distribuidos dependientes de la frecuencia. Esta dependencia de la frecuencia se ha explorado utilizando el modelo dependiente de la frecuencia de JMarti con matriz de transformación constante en ATPDraw [2]. Otros elementos importantes del modelo son la inclusión de una subestación terminal y la representación de un rayo por una fuente de corriente con o sin impedancia de sobretensión del rayo.

3. Desarrollo del trabajo

Caso de estudio

Se considera una línea de transmisión de 400 kV, con una longitud de 70 km y 120 torres. Se desea simular el impacto de un rayo en el cable de guarda I de la sección comprendida entre las torres 108 y 112. En la Figura 1 se observa la configuración geométrica de las torres, la distancia entre fases y los hilos de guarda, y su ubicación sobre el nivel del suelo.

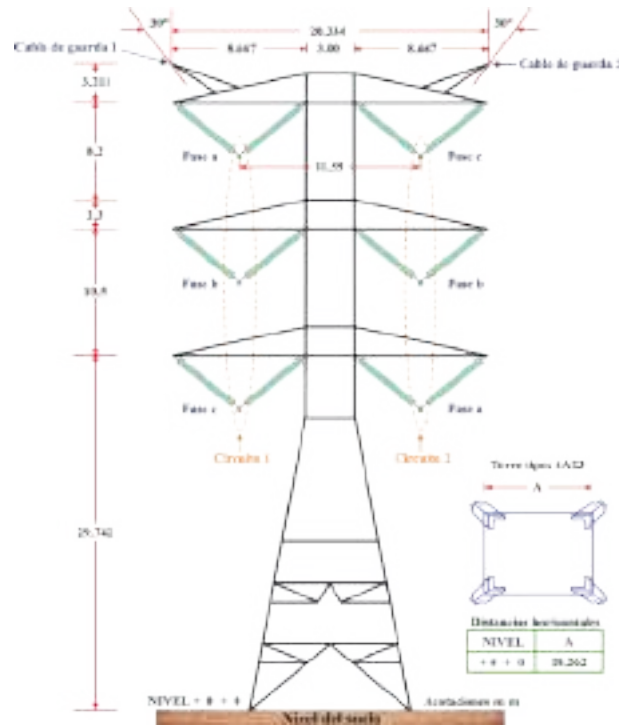


Figura 1. Configuración geométrica de la torre

El conductor utilizado en las fases tiene un radio interno de 0.5985 cm, un radio externo de 1.599 cm y una resistencia de 0.0513 Ω /km DC. El conductor utilizado en los cables de guarda tiene un radio externo de 0.489 cm y una resistencia de 1.463 Ω /km DC.

En la Tabla 1 se presenta la tensión crítica de flameo (CFO) corregida para cada una de las torres.

Tabla 1. Tensión crítica de flameo

Tensión crítica de flameo				
Torre 108	Torre 109	Torre 110	Torre 111	Torre 112
1897.17 kV	1961.75 kV	2018.45 kV	1969.76 kV	1908.31 kV

La Tabla 2 presenta los niveles de contaminación, la altitud y el número de aisladores de las torres.

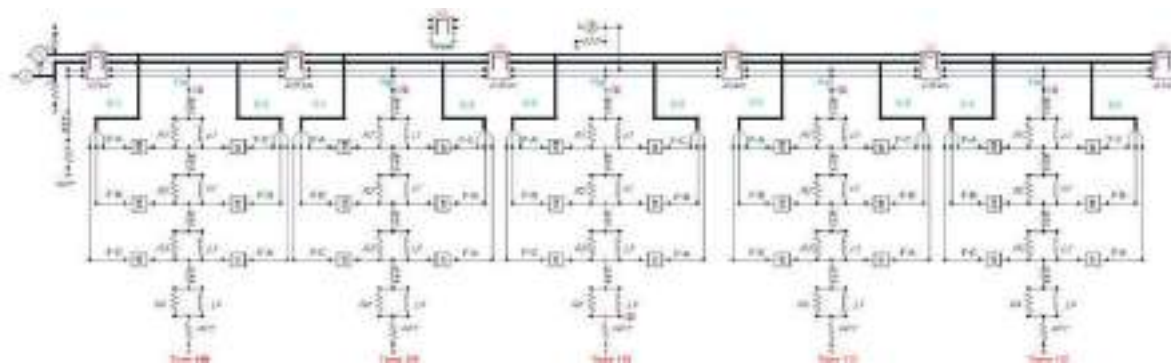
Tabla 2. Características de las torres

Torre	Nivel de contaminación	Altitud, en m. s. n. m.	No. Aisladores
108	Muy ligero	2000	25E
109	Ligero	2273	26E
110	Medio	2505	26N+1E
111	Pesado	2306	27N+1E
112	Muy ligero	2048	25E

*Donde m s. n. m.: metros sobre el nivel del mar, E: estándar y N: niebla.

El modelamiento de la línea de transmisión se desarrolló con el programa ATPDraw, en el cual se consideró la sección comprendida entre las torres 108 y 112.

En la Figura 2 se observa el modelado de la sección de la línea de transmisión en estudio.



Hg: Cable de guarda.

Rt-4: Resistencia.

C-1: Circuito 1.

Lt-4: Inductancia.

C-2: Circuito 2.

RPT: Resistencia a pie de

F-A: Fase a.

torre.

F-B: Fase b.

LCC: Sección de una línea

F-C: Fase c.

de transmisión.

Figura 2. Modelado de la sección de la línea de transmisión

Los niveles de corriente de rayo que afectan el nivel de blindaje en las cadenas de aisladores al impactar un rayo en los conductores de guarda y que producen un flameo inverso suelen ser superiores a 20 kA; el estándar IEEE Std-1243-1997 recomienda considerar magnitudes superiores al valor promedio de 31 kA [2]. Para el desarrollo del estudio se empleó una corriente de impacto de rayo de 31 kA.

La Figura 3 presenta la simulación del impacto de un rayo en la torre 110; se observa que las tensiones en las cadenas de aisladores de las fases de los 2 circuitos no presentarán flameo inverso, debido a que no se supera la CFO de 2018.45 kV.

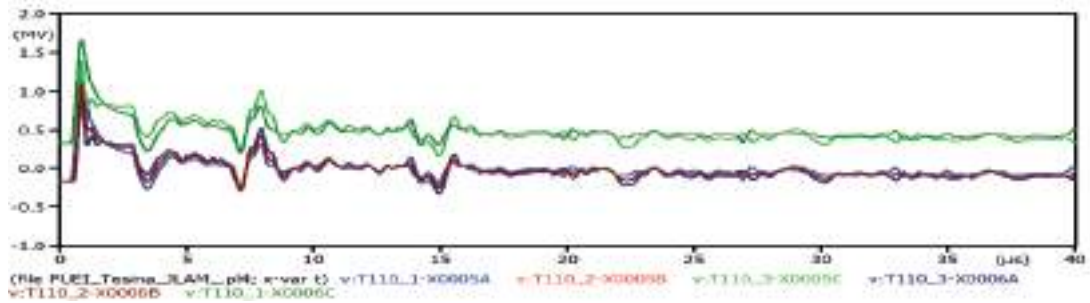


Figura 3. Tensiones en las cadenas de aisladores de los circuitos de la torre 110

En busca de determinar el nivel máximo de aguante de la cadena de aisladores de la línea de transmisión, se modelaron diferentes niveles de descarga de rayo, y se concluyó que el flameo inverso en el aislamiento se hace presente a partir de una descarga de rayo de 79 kA.

Las Figuras 4 y 5 presentan la simulación de los circuitos 1 y 2 ante la descarga de un rayo de 79 kA en el cable de guarda 1 de la torre 110. Se observa que la fase C de los circuitos 1 y 2 presenta un flameo inverso, el cual ocurre a 1.45 μ s y 1.42 μ s respectivamente, debido a que se supera la CFO.

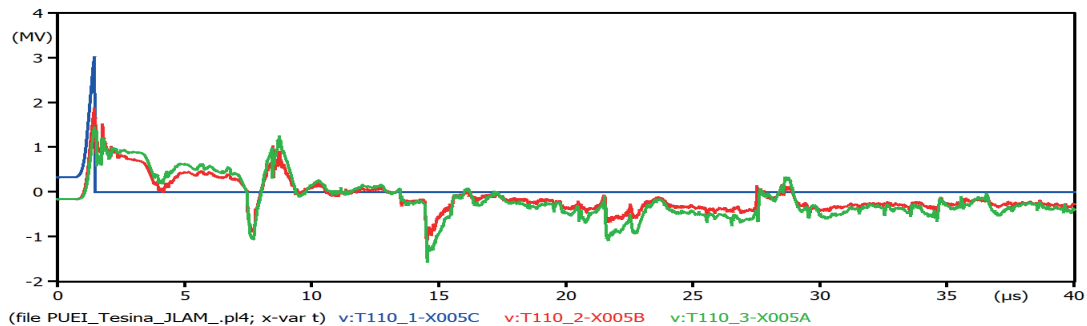


Figura 4. Tensiones en los aisladores del circuito 1 de la torre 110, ante una descarga de 79 kA

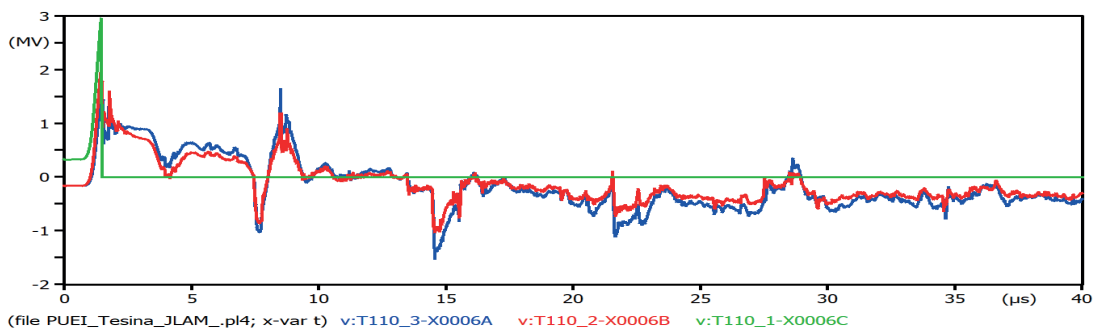


Figura 5. Tensiones en los aisladores del circuito 2 de la torre 110, ante una descarga de 79 kA

4. Conclusiones

Se consideró un mismo tipo de aislador en la cadena, excepto para los casos en que se utilizaron aisladores niebla, que, por razones de mantenimiento, llevan un aislador estándar junto al yugo que soporta el o los

conductores. Se realizó un estudio para el análisis de una línea aérea de 400 kV bajo el impacto de un rayo por medio de la simulación en un modelo digital, desarrollado dentro del programa ATPDraw utilizando su función MODELS.

Se presenta un modelo adecuado de la línea de transmisión, teniendo en cuenta también la dependencia de la frecuencia de los parámetros de la línea, los modelos de aislamiento, las torres metálicas, y el sistema de puesta a tierra incluyendo la resistencia a pie de torre. El modelo del impacto del rayo programado por medio de la herramienta de Models del ATPDraw muestra un correcto comportamiento de las señales de tensión, debido que al compararlo con la tensión crítica de flameo presentan las mismas características.

5. Referencias

- [1] G. Liu, X. Wen, B. Wei, F. Ji, C. Lin, and L. Gao, "Study on Time Domain Simulation Model for Lossy Frequency-Dependent Single Transmission Line", In *2021 International Conference on Power System Technology*, pp. 2246-2250, December 2021.
- [2] L. Liu, G. Zhang, Z. Zhu, H. Wang, and Z. Ma, "Atmospheric continuous filament discharge plasma (ACFDP) applied to crop sterilization", In *The 33rd IEEE International Conference on Plasma Science, 2006. ICOPS 2006. IEEE Conference Record-Abstracts*, pp. 187-189, June 2006.

Producción de voltaje y amperaje en una celda bioelectroquímica acoplada a un sistema hidropónico

Esquivel Acosta Estefanía¹, Gómora Hernández Julio César^{1,*}, Carreño de León María del Carmen²

¹División de Ingeniería Ambiental, Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Carretera Tenango, Santiago – La marquesa 22, C. P. 52650, Santiago Tilapa, Estado de México, México.

²División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico S/N, Colonia Agrícola Bellavista, Metepec, Estado de México, C. P. 52149, México.

julio_gh@test.edu.mx

Resumen. La descarga de aguas residuales tratadas de forma inadecuada o sin tratamiento alguno provoca la contaminación de los cuerpos de agua receptores, disminuyendo la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, y poniendo en riesgo la salud de la población y la integridad de los ecosistemas. La producción excesiva de energía eléctrica a partir de fuentes fósiles para abastecer la demanda de la población es otro factor que tiene un impacto negativo en el ambiente; una posible solución es la adaptación de sistemas bioelectroquímicos en humedales artificiales.

En estos sistemas, los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales sirven como fuente de carbono para los microorganismos, quienes generan electrones libres como producto de su metabolismo. En el presente trabajo se evaluó la producción de voltaje y amperaje en dos celdas de combustible vegetales tipo humedal utilizando carbohidratos simples como fuente de carbono, tezontle, electrodos de fibra de carbono y la planta del género *Typha sp.* El voltaje, amperaje, vitalidad de la planta y el pH del agua se monitorearon de manera constante durante 40 días de operación. La celda vegetal operada con glucosa resultó ser más eficaz para la producción de energía, pues alcanzó un voltaje máximo de 0.61 V y un amperaje de 1.08 mA, mientras que la celda operada con acetato de sodio mostró un voltaje de 0.56 V y amperaje de 1.02 mA. El pH del agua aumentó su valor a partir de los 14 días de operación, y la planta acoplada a la celda con acetato creció adecuadamente.

Palabras clave: Amperaje, fibra de carbono, humedal artificial, sistema bioelectroquímico, voltaje.

1. Introducción

A medida que la población crece y las industrias se expanden, se propicia una mayor producción y consumo de bienes y servicios para satisfacer las necesidades básicas del ser humano, como lo son el acceso a energía, alimentos y agua. Sin embargo, este incremento ha traído una mayor generación de aguas residuales, de las cuales una proporción significativa se vierte sin tratamiento previo o de forma inadecuada en diversos cuerpos de agua. Como resultado de su contaminación, se ha afectado la integridad de ecosistemas y se ha disminuido la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, reduciendo la disponibilidad inmediata de este líquido, requiriéndose en algunos casos de procesos e inversiones económicas para su tratamiento y potabilización.

Pese a que actualmente se utilizan varios tratamientos, la mayoría de ellos requieren de un presupuesto alto e implican un consumo excesivo de energía, otro factor que tiene un impacto negativo en el entorno, pues gran parte de su generación está basada en fuentes convencionales, como lo es la combustión de fuentes fósiles, lo que supone la principal causa de las emisiones de gases de efecto invernadero, responsables del cambio climático. Pese a que algunos procesos se efectúan a partir de energías renovables, sigue existiendo un problema de acuerdo con su costo de implementación, su dependencia de recursos y la adaptación e implementación de diversos materiales en su infraestructura, los cuales después de su vida útil pasan a ser un desecho difícil de tratar.

Actualmente, se han investigado y desarrollado diversas tecnologías y sistemas capaces de producir energía de manera sostenible y responsable con el medio ambiente, como es el caso de los Sistemas Bioelectroquímicos (SBE) acoplados a un humedal artificial, los cuales poseen la capacidad de generar energía utilizando aguas residuales como fuente de carbono, una alternativa renovable y biodegradable, a bajo costo y con alta disponibilidad. Desde hace unos años, se han llevado a cabo diversas investigaciones sobre los humedales y su mecanismo de acción para ser considerados como depuradores de aguas naturales y el cómo pueden ser recreados en sistemas artificiales que permitan obtener un máximo potencial y aprovechamiento de ellos, en beneficio del hombre y de su entorno. Así también, se ha buscado la manera de acoplar a ellos distintos mecanismos y tecnologías que no solo potencialicen sus funciones, sino además a través de los cuales se puedan obtener nuevos beneficios como la producción de energía.

Liu, *et al.* (2004), demostraron que es posible producir electricidad en una celda de combustible microbiana a partir de agua residual doméstica, mientras se degrada la materia orgánica presente en ella [1]. Recientemente, Puigagut y Corbella (2018) mejoraron la eficiencia de las celdas de combustible microbianas sin membrana de intercambio catiónico, simulando el núcleo de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal no plantado y poco profundo. En este estudio se analizó el efecto de la resistencia externa y el material del ánodo, concluyendo que los humedales artificiales operados como una celda de combustible microbiana son una buena estrategia para mejorar la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales generando voltaje y amperaje como subproductos [2]. El objetivo del presente proyecto fue construir una celda bioelectroquímica hidropónica con materiales de bajo costo, y evaluar la generación de voltaje y amperaje utilizando carbohidratos fácilmente fermentables. El proyecto pretende brindar una alternativa en cuanto a la generación de energía utilizando un sistema de bajo costo y sustentable, que permita a su vez la proliferación de flora.

2. Fundamentos teóricos

Un humedal artificial es un sistema diseñado y construido por el ser humano para imitar las funciones y procesos de un humedal natural. Consiste en una zona de enraizamiento de plantas acuáticas y una capa de sustrato permeable. Estos sistemas artificiales se utilizan para tratar las aguas residuales y otros efluentes, eliminando

los contaminantes a través de diversos procesos bioquímicos que involucran microorganismos, plantas y otros seres vivos presentes en el sustrato y en el agua [3]. Existen dos tipos de humedales artificiales en función de la circulación del agua y la estructura del mismo; el primero de ellos es el sistema de flujo superficial libre, en donde el nivel del agua está sobre la superficie del sedimento, la vegetación está fija al sustrato y emerge sobre la superficie del agua, el flujo de agua es principalmente superficial y circula a través de los tallos y raíces de la vegetación donde se desarrolla la película bacteriana. El segundo es el sistema de flujo subsuperficial, que se caracteriza porque la circulación del agua se realiza a través de un medio granular (subterráneo). La vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas.

Los humedales artificiales están constituidos por cuatro elementos: sustrato, vegetación, agua y microorganismos. El sustrato está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico. El sustrato es importante, ya que da soporte a muchos de los organismos vivientes en el humedal y muchas de las transformaciones químicas y biológicas tienen lugar dentro de él [4]. La importancia de la vegetación en los humedales está determinada principalmente por su sistema radicular, que le permite transferir oxígeno desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces. Este oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación.

La presencia de agua es un factor de diseño importante en un humedal artificial porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del humedal. El agua residual con alta carga orgánica aporta alimento a las plantas; después de atravesar el humedal pierde materia orgánica y sólidos en suspensión.

Un sistema de hidroponía es una técnica de cultivo de plantas en la cual se utiliza agua en lugar de suelo para proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. En la hidroponía, las raíces de las plantas se sumergen en una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales para su desarrollo. Este sistema permite un control preciso de los nutrientes, el agua y la luz, lo que resulta en un crecimiento más eficiente y rápido de las plantas. Además, la hidroponía permite el uso de agua residual, ya que los nutrientes contenidos en ellas y el dióxido de carbono que liberan pueden ser capturados y almacenados por las plantas como biomasa; también evita el uso de pesticidas y enfermedades asociadas al suelo, y puede utilizarse en espacios reducidos o en áreas donde el suelo es poco propicio para el cultivo.

En años recientes se han acoplado humedales artificiales a SBE. Un SBE es un dispositivo que utiliza la interacción entre microorganismos y electroquímica para convertir compuestos orgánicos en electricidad. Estos sistemas aprovechan la capacidad de ciertos microorganismos para transferir electrones fuera de su pared celular a través de procesos metabólicos. En estos sistemas, los compuestos orgánicos biodegradables presentes en las aguas residuales se consideran como una fuente de carbono capaz de generar bioelectricidad mientras se tratan las aguas residuales. Uno de los SBE más comunes es la celda de combustible microbiana: en este sistema los microorganismos oxidan la materia orgánica e inorgánica generando una gran cantidad de electrones, los cuales se capturan en un electrodo para generar una corriente eléctrica [5]. La CCM convencional tiene una cámara anódica y una cámara catódica separadas por una membrana de intercambio protónica, así como un circuito externo. En esta celda, las bacterias electrogénicas activas son capaces de convertir sustrato biodegradable en bioelectricidad. En la cámara del ánodo el sustrato biodegradable es oxidado y eliminado por microorganismos que liberan protones y electrones; estos últimos viajan a la cámara del cátodo produciendo una corriente eléctrica.

En años recientes se ha buscado acoplar las tecnologías de SBE y humedales artificiales para incrementar la generación de energía y la degradación de materia orgánica. En estos sistemas se combinan principios de electroquímica y biotecnología para mejorar la eficiencia de la depuración de aguas residuales en humedales artificiales.

En un SBE adaptado a un humedal artificial se incluyen electrodos en el lecho del humedal para aprovechar los electrones generados durante la descomposición y eliminación de contaminantes orgánicos. Estos electrodos actúan como interfaces en las reacciones electroquímicas, estimulando la actividad microbiana y mejorando la transferencia de electrones. (Figura 1).

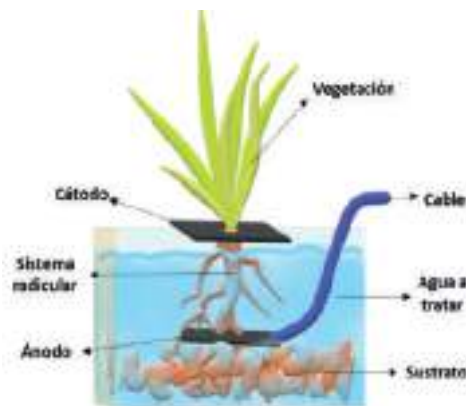


Figura 1. Conformación de una celda de combustible vegetal tipo hidroponía

3. Desarrollo del trabajo

Se seleccionó un humedal superficial tipo batch, es decir, un sistema en el cual el agua se encuentra estancada sin movimiento, y en consecuencia disminuye su cantidad de oxígeno disuelto. Para dar soporte a la vegetación, se utilizó tezontle, el cual es un material inerte y poroso que no solo sostendrá a la vegetación, sino también retendrá compuestos presentes en el agua. La planta de género *Typha sp.* se seleccionó debido a su resistencia y adaptabilidad a la zona de estudio. El agua residual sintética se elaboró a base de carbohidratos simples tales como glucosa ($C_6H_{12}O_6$) a una concentración de 5 g/L (Figura 2a) y acetato de sodio ($C_2H_3NaO_2$) a una concentración de 3.33 g/L (Figura 2b). Para los electrodos, se eligió fibra de carbono debido a su alta flexibilidad, lo que permite un buen desarrollo y crecimiento de la planta, además de ser resistente a la corrosión y a la humedad. El ánodo se enlazó al sistema radicular de la planta para formar la cámara anódica, mientras que el cátodo se sujetó al tallo de la planta sobre la superficie del agua.



Figura 2. Celdas de combustible vegetales operadas con a) glucosa y b) acetato de sodio

Los sistemas se montaron en recipientes de plástico de acuerdo con el diseño mostrado en la Figura 1. El voltaje y amperaje de cada una de las celdas se monitoreó diariamente utilizando un multímetro, además el pH del humedal se tomó a partir de los 14 días de operación con el fin de conocer los cambios en su acidez y como una medida indirecta de la degradación bacteriana de la materia orgánica. En la Figura 3 se muestran los resultados del voltaje y amperaje generados en la celda de combustible vegetal operada con glucosa durante un periodo de 38 días; como puede observarse, el voltaje se mantuvo estable, alcanzando un máximo de 0.613 V en el día 3 y un mínimo de 0.052 V en el día 38.

En cuanto al amperaje, se muestra variación e inestabilidad entre los datos registrados, obtenido un máximo de 1.08 mA en el día 3 y un mínimo de 0.01 mA en el día 24; a partir de este día la generación de amperaje fue nula. Los valores obtenidos de voltaje en esta celda fueron mayores a los obtenidos en una CCM con la planta *Portulacaria afra*, en la cual se alcanzó un valor promedio de 0.45 V [6].

La celda operada con acetato de sodio mostró un voltaje máximo de 0.564 V en el primer día de operación y un amperaje de 1.02 mA en el mismo día; de acuerdo con la Figura 4, los valores de voltaje y amperaje fueron menores comparados con los obtenidos en la celda de glucosa; no obstante, tanto el voltaje como el amperaje mantienen estabilidad durante 30 días.



Figura 3. Amperaje y voltaje obtenidos en la celda operada con glucosa



Figura 4. Amperaje y voltaje obtenidos en la celda operada con acetato de sodio

Como se puede observar en la Figura 5, a partir de los 14 días de operación, ambos sistemas presentaron un aumento en el pH del agua; este comportamiento se observó hasta el día 38, en el cual se alcanzó la estabilidad con un valor de 8.4 y de 8.8 para la celda de glucosa y acetato, respectivamente. Es importante mencionar que los valores obtenidos se vieron afectados por las condiciones y factores ambientales a los que estaban sometidos los sistemas.



Figura 5. Comportamiento del pH del agua en función del tiempo para las celdas vegetales

4. Conclusiones

La celda operada con glucosa alcanzó valores más altos de voltaje y amperaje, comparados con los obtenidos en la celda de acetato. Los SBE acoplados a un humedal artificial son una alternativa para la generación de voltaje y amperaje de manera eficaz, sustentable, a bajo costo y con recursos biodegradables. Los SBE fueron eficientes para producir voltaje a partir de los carbohidratos simples usados como materia prima; sin embargo, la vitalidad de la planta disminuyó, por lo cual es recomendable agregar sustrato natural y solución nutritiva que favorezca al crecimiento y desarrollo de la planta. Los agentes ambientales como la precipitación pluvial y la variación en la intensidad solar afectaron el rendimiento de los sistemas; no obstante, es importante operar los sistemas involucrando los efectos externos para prospectar su aplicación *in situ*.

5. Referencias

- [1] H. Liu, R. Ramnarayanan y B. E. Logan, «Production of Electricity during Wastewater Treatment Using a Single Chamber Microbial Fuel Cell,» *Environmental Science & Technology*, pp. 2281-2285, 2004.
- [2] C. Corbella Vidal y J. Puigagut Juárez, «Improving domestic wastewater treatment efficiency with constructed wetland microbial fuel cells: influence of anode material and external resistance,» *Science of the total environment*, pp. 1406-1414, 2018.
- [3] R. Silvia, Z. Zamora y D. Hernán, «Humedales Artificiales,» 2005.
- [4] O. Delgadillo, A. Camacho, L. Pérez y M. Andrade, «Depuración de aguas residuales,» Nelson Antequera Durán, Cochabamba, Bolivia, 2010.
- [5] B. E. Logan, B. Hamelers, R. Rozendal, U. Schröder, J. Keller, S. Freguia y K. Rabaey, «Microbial fuel cells: Methodology and technology,» *Environmental Science and Technology*, pp. 5181-5192, 2006.
- [6] A. C. Góngora Molina, J. Ochoa Mancilla, M. E. Sosa Assi, E. Vázquez Borges. «Energía. Celdas de combustible microbianas» *Ingeniería*, vol. 21, no. 1, pp. 2281-2285, 2017.

Aplicaciones de Polianilina: Un Polímero Más que Prometedor

Carranza Cruz Juan Carlos,¹ Rivera Ernesto,² Martínez Gallegos Sonia¹

¹ TecNM / Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico S/N, Ex Rancho la Virgen, C.P. 52149, Metepec, Estado de México, México.

² Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior Ciudad Universitaria, C.P. 04510, México D.F., México.

jcarranzac@toluca.tecnm.mx

Resumen. Desde el desarrollo de materiales, uno de los principales objetivos de la ciencia e ingeniería de los materiales es el descubrimiento y desarrollo de nuevas sustancias. Hoy en día, los materiales provenientes de la síntesis y caracterización de polímeros conductores orgánicos han tenido un crecimiento; tal es el caso de la polianilina utilizada en dispositivos ópticos, en búsqueda de nuevos semiconductores, prótesis y materiales compuestos para la eliminación de contaminantes en el agua. La polianilina es un polímero que puede ser sintetizado como un material compuesto, lo que lo hace muy prometedor debido a sus propiedades conductoras ajustables para diferentes aplicaciones.

Palabras clave: Polianilina, polímeros conductores, materiales.

I. Introducción

En los últimos años de avances tecnológicos y científicos se han utilizado diferentes polímeros conductores, debido a sus características únicas. La polianilina (PANI), debido a su procesabilidad, estabilidad ambiental, síntesis económica y la creación de nuevos materiales, tiende a ser uno de los polímeros más prometedores en cuanto a su estudio y las aplicaciones medioambientales con las que hoy en día se está trabajando. PANI se está trabajando desde la creación de celdas solares, hasta el involucramiento en al área médica, sin olvidar que en el área de electrónica ya existen diversos dispositivos electrónicos a base de PANI. Se espera en un futuro muy próximo su optimización en la procesabilidad, la conductividad y la estabilidad.

2. Fundamentos Teóricos

Polianilina en la eliminación de metales pesados en el agua

En la actualidad, la contaminación por metales pesados presentes en el agua es una de las principales preocupaciones de la sociedad, puesto que los niveles de toxicidad son altos. Se consideran metales pesados por su densidad los que superan los 5 g/cm^3 , como son Cr, Hg, Pb, Co, Ni, Cu, Zn, Sn y Cd, por mencionar algunos. Dichos metales se encuentran en el medio ambiente y están en aumento debido a la industrialización, siendo una grave amenaza para todos los seres vivos.

Los investigadores han utilizado métodos para la eliminación de metales pesados, como adsorción, electrodiálisis, intercambio iónico, ósmosis inversa y ultrafiltración, etc. El método de adsorción es uno de los más utilizados por ser simple y con una gran eficiencia de rendimiento, lo que lo hace muy rentable.

PANI es un polímero que en los últimos años se ha trabajado como adsorbente de metales pesados. Este polímero conductor con grupo amina terminal (NH_2) tiene excelentes propiedades como área superficial alta, química de superficie ajustable, distribución de tamaño de poro deseable, rigidez y regeneración económica.

Jha y colaboradores utilizaron compósitos de PANI con fibras de coco a diferentes concentraciones (15, 25, 50 y 75 p/p%) como adsorbentes (0.25 mg/mL) para la remoción de cromo hexavalente (10 mg L^{-1}) de su solución acuosa (Figura 1). Los autores muestran que los compósitos presentan una adsorción del 93,11% en 30 minutos; asimismo, proponen que el pH ácido es más adecuado para la adsorción de Cr (VI) en su solución acuosa, a diferencia de un pH básico.

El desarrollo de compuestos PANI para la eliminación de metales pesados da como resultado un buen rendimiento y también es factible en cuanto a su síntesis sencilla. Esto contribuye a la creación de más compósitos con base en PANI para la eliminación de contaminantes nocivos en el campo de la adsorción.

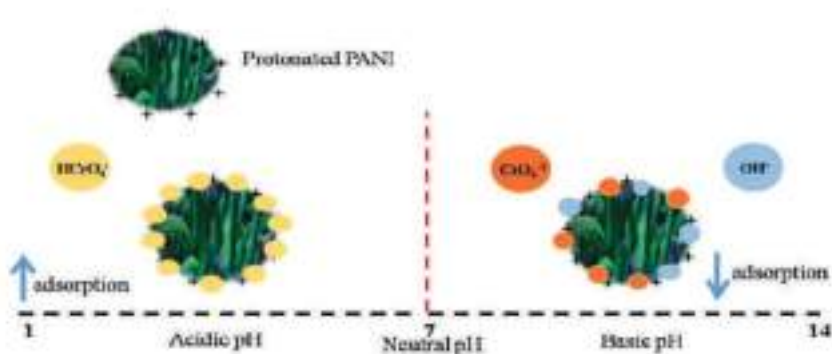


Figura 1. Esquema que muestra el mecanismo de adsorción de cromo a pH ácido y básico. (Jha et al., 2022)

Polianilina en la eliminación de colorantes en el agua

Los tintes se definen como sustancias químicas naturales o sintéticas que se utilizan para impartir color. Los colorantes son utilizados en papel, cuero, pieles, cabello, medicamentos, cosméticos, ceras, grasas, plásticos y en una infinidad de productos.

Debido a sus propiedades únicas, el uso y la dispersión de tintes sintéticos han aumentado considerablemente; la problemática se presenta porque ciertos tintes sintéticos no se degradan fácilmente en el ecosistema natural, se vuelven altamente tóxicos y cancerígenos, causan problemas de contaminación ya que evitan la reoxigenación

la industria de alimentos (Figura 3). Los electrodos de PANI han permitido distinguir las soluciones saladas, dulces, amargas, ácidas en agua mineral, té y café (Riul et al., 2003) and interdigitated electrodes coated with stearic acid (SA). También se han construido electrodos con compositos de PANI y poliamida para detectar residuos de tetraciclina en muestras de grasa y leche desnatada (Scagion et al., 2016).

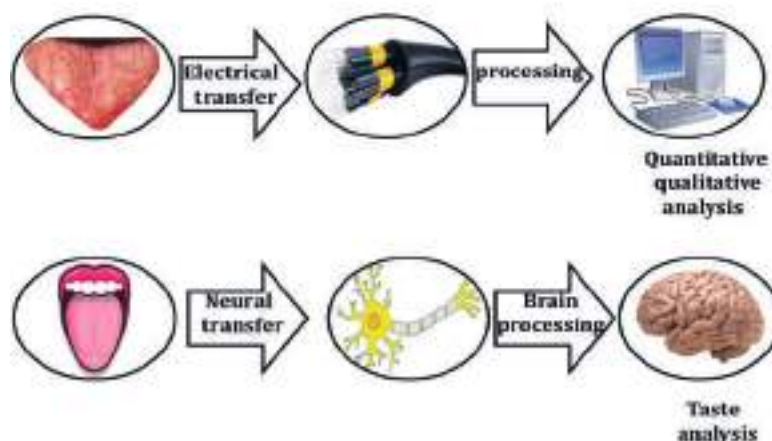


Figura 3 Comparación de lengua electrónica con lengua natural

3. Conclusiones

La PANI tiene un inmenso potencial para muchas aplicaciones debido a sus características únicas, como fácil preparación, respeto al medio ambiente, estabilidad y rentabilidad. El desarrollo de compuestos PANI con diferentes materiales sigue en proceso con aplicaciones ambientales, industria de los alimentos, médicas y electrónicas. Sin duda, PANI tiende a ser uno de los polímeros más prometedores en cuanto a su estudio y las aplicaciones medioambientales con las que hoy en día se está trabajando.

4. Referencias

- [1] Jha, S., Gaur, R., Shahabuddin, S., Ahmad, I., & Sridewi, N. (2022). Kinetic and Isothermal Investigations on the Use of Low Cost Coconut Fiber-Polyaniline Composites for the Removal of Chromium from Wastewater. *Polymers*, 14(20), 1–12. <https://doi.org/10.3390/polym14204264>
- [2] Khan, S., & Malik, A. (2018). Toxicity evaluation of textile effluents and role of native soil bacterium in biodegradation of a textile dye. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(5), 4446–4458. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0783-7>
- [3] Yaseen, D. A., & Scholz, M. (2019). Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review. In *International Journal of Environmental Science and Technology* (Vol. 16, Issue 2). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2130-z>
- [4] Vidya, J., John Bosco, A., Haribaaskar, K., & Balamurugan, P. (2019). Polyaniline–BiVO₄ nanocomposite as an efficient adsorbent for the removal of methyl orange from aqueous solution. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 103(July), 104645. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2019.104645>
- [5] Senguttuvan, S., Senthilkumar, P., Janaki, V., & Kamala-kannan, S. (2021). *Chemosphere Signi*

- fi cance of conducting polyaniline based composites for the removal of dyes and heavy metals from aqueous solution and wastewaters—A review. *Chemosphere*, 267, 129201. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129201>
- [6] Zhu, C., Yang, G., Li, H., Du, D., & Lin, Y. (2015). Electrochemical sensors and biosensors based on nanomaterials and nanostructures. *Analytical Chemistry*, 87(1), 230–249. <https://doi.org/10.1021/ac5039863>
- [7] Zhai, D., Liu, B., Shi, Y., Pan, L., Wang, Y., Li, W., Zhang, R., & Yu, G. (2013). Highly sensitive glucose sensor based on pt nanoparticle/polyaniline hydrogel heterostructures. *ACS Nano*, 7(4), 3540–3546. <https://doi.org/10.1021/nn400482d>
- [8] Riul, A., Soto, A. M. G., Mello, S. V., Bone, S., Taylor, D. M., & Mattoso, L. H. C. (2003). An electronic tongue using polypyrrole and polyaniline. *Synthetic Metals*, 132(2), 109–116. [https://doi.org/10.1016/S0379-6779\(02\)00107-8](https://doi.org/10.1016/S0379-6779(02)00107-8)
- [9] Scagion, V. P., Mercante, L. A., Sakamoto, K. Y., Oliveira, J. E., Fonseca, F. J., Mattoso, L. H. C., Ferreira, M. D., & Correa, D. S. (2016). An electronic tongue based on conducting electrospun nanofibers for detecting tetracycline in milk samples. *RSC Advances*, 6(105), 103740–103746. <https://doi.org/10.1039/c6ra21326j>

QUÍMICA Y NANOTECNOLOGÍA

Entendiendo la biosíntesis de nanopartículas con Cheems

Valdivieso Oviedo Alejandro¹, Silva-De Hoyos Luisa Elena¹, Torres Gómez Nayely¹

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, 52149, Metepec, Estado de México, México.
valdiovi@gmail.com, MM22281242@toluca.tecnm.mx

Resumen. La nanotecnología ha tomado gran importancia en las últimas décadas. En la búsqueda de métodos de síntesis de nanopartículas más sostenibles, amigables con el medio ambiente y más respetuosos con la salud humana, surge la biosíntesis. Esta se basa en el uso de diversas entidades biológicas para sustituir productos químicos agresivos, tóxicos y costosos que suelen emplearse en métodos tradicionales. En este trabajo se abordan los mecanismos de la síntesis de nanopartículas empleando extractos de plantas, en donde los polifenoles son agentes reductores o agentes estabilizantes.

Palabras clave: biosíntesis, nanopartículas, Cheems.

I. Introducción

Una nanopartícula es aquella partícula que mide menos de 100 nanómetros (1×10^{-9} m) en alguna de sus dimensiones; esto quiere decir que son aproximadamente 500 veces más pequeñas que el grosor de un cabello humano. Las nanopartículas al ser tan pequeñas tienen propiedades químicas y físicas comparables o mejores que otro tipo de materiales actualmente empleados en el desarrollo tecnológico y científico. En este sentido, la nanotecnología implica el uso, manipulación y síntesis de estas nanopartículas. Existen numerosos métodos físicos, químicos y biológicos que pueden emplearse para sintetizar nanopartículas, lo cual lleva a la generación de una amplia gama de estas estructuras a nivel atómico.

En la actualidad, se buscan métodos de síntesis de nanopartículas que cumplan los principios de la “química verde”: esta se basa en 12 principios que engloban la disminución de riesgos de accidentes químicos; de consumo energético y generación de residuos directos e indirectos. Un método económico, no tóxico y ambientalmente amigable, es la biosíntesis, que se basa en el uso de organismos vivos como virus, bacterias, hongos o plantas, los cuales llevan a cabo el proceso de síntesis de las nanopartículas o se emplean para sustituir algún compuesto químico tóxico o costoso de otro método de síntesis [1].

2. Fundamentos teóricos

La mayoría de las plantas producen un tipo de compuestos denominados polifenoles; estos compuestos tienen una amplia gama de estructuras químicas, pero de manera general la molécula debe tener uno o más grupos hidroxilo (-OH) unidos a un anillo aromático; al conjunto de ambos grupos se le denomina monómero (Figura 1). Los polifenoles se encuentran naturalmente en nuestra dieta por alimentos de origen vegetal como frutas, verduras o cereales [2].



Figura 1. Monómero de los polifenoles

Es posible extraer los polifenoles de las plantas; el método más común es la extracción en medio acuoso, lo que comúnmente se denomina infusión. Este método consta en introducir en agua diferentes partes de una planta como hojas, raíces, cortezas, flores, frutas o semillas; y en conjunto con la temperatura sacar los compuestos de interés de la planta hacia el agua, para posteriormente emplearla para otros fines.

Un ejemplo de extracto de polifenoles es la cerveza, ya que en su proceso de elaboración la malta de cebada y el lúpulo se infusionan para obtener los azúcares, lo que se denomina mosto, el cual posteriormente se fermenta. Además, los polifenoles se disuelven en el mosto y pueden experimentar cambios durante la fermentación y las etapas de elaboración posteriores. Por lo tanto, el contenido final de polifenoles en la cerveza depende tanto de las materias primas utilizadas como del proceso de elaboración empleado; y desempeñan un papel crucial al retardar o prevenir los procesos de oxidación de la bebida; asimismo, influyen en el sabor y olor de esta [3].

3. Desarrollo del trabajo

Para sintetizar una nanopartícula es necesario una sal metálica, que se denomina sal precursora, ya que a partir de esta por medio de su disociación se obtienen iones de interés; esto quiere decir separar un ion metálico de carga positiva (catión) del ion de carga negativa (anión) de la sal (Figura 2).

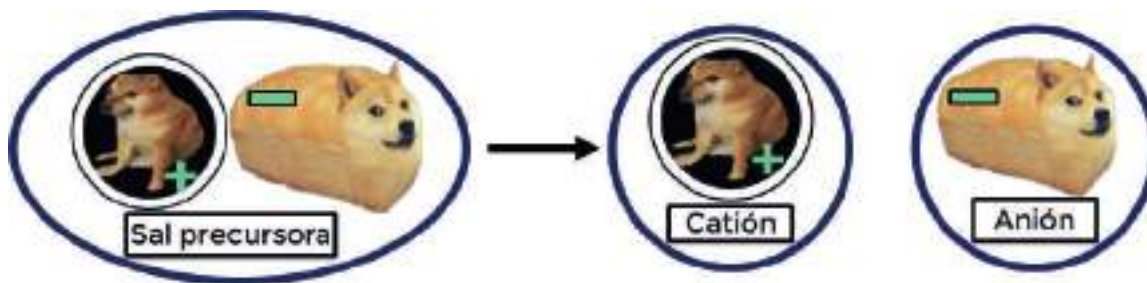


Figura 2. Disociación de una sal precursora

Estos iones se encuentran en equilibrio en el medio de reacción, pero, para que ocurra la iniciación de la formación de la nanopartícula, es necesario aportar energía por medio de la temperatura para hacer que los iones se muevan más y favorecer que choquen entre ellos. También es necesario un agente reductor que le ceda electrones (e^-) al ion metálico hasta que quede con carga neutra; en este sentido, los polifenoles pueden funcionar como agentes reductores ya que sus oxígenos ceden sus electrones al catión y comienza la nucleación. Los átomos neutros chocan entre ellos y se agrupan en núcleos, los cuales seguirán uniéndose y creciendo hasta formar la nanopartícula cuando sean miles de átomos unidos (Figura 3).

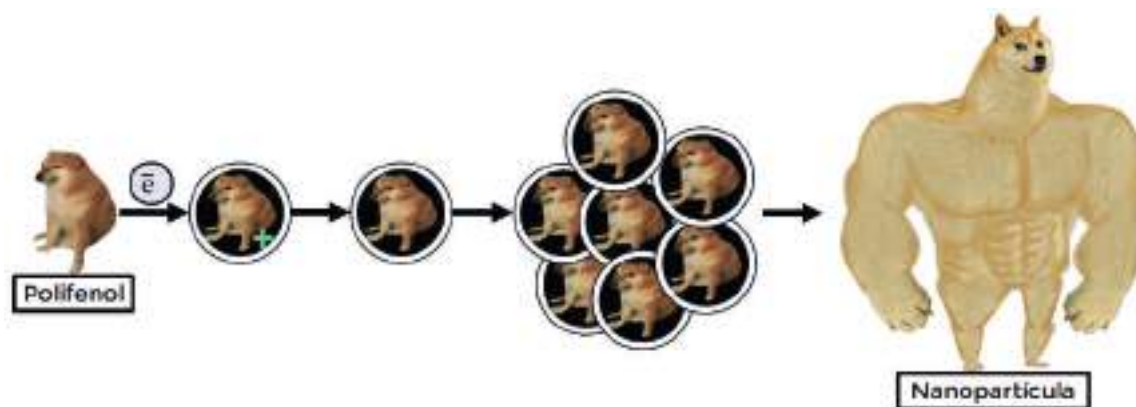


Figura 3. Mecanismo de formación de una nanopartícula con polifenol como agente reductor

El proceso de crecimiento de las nanopartículas no se detiene por sí mismo, es necesario dejar de adicionar energía al sistema o agregar un agente estabilizante que proteja a estas partículas y limite su crecimiento una vez que haya llegado a un cierto tamaño. De igual manera, los polifenoles funcionan como agentes estabilizantes, se adhieren a la superficie de la nanopartícula y evitan que se sigan uniendo más átomos, controlando el crecimiento y estabilizándolas (Figura 4).

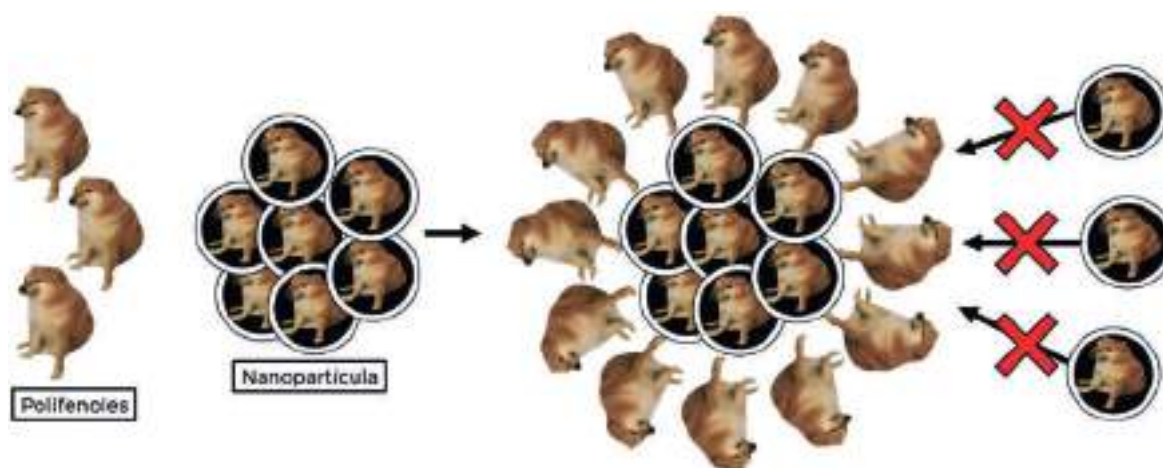


Figura 4. Mecanismo de estabilización de una nanopartícula por polifenoles

Los polifenoles también pueden modificar la morfología de la partícula, ya que no recubren de forma homogénea la superficie de la partícula, por lo tanto, en las zonas donde no esté recubierta seguirá creciendo, dando lugar a una amplia variedad de formas [1], como por ejemplo las denominadas “flores” (Figura 5).

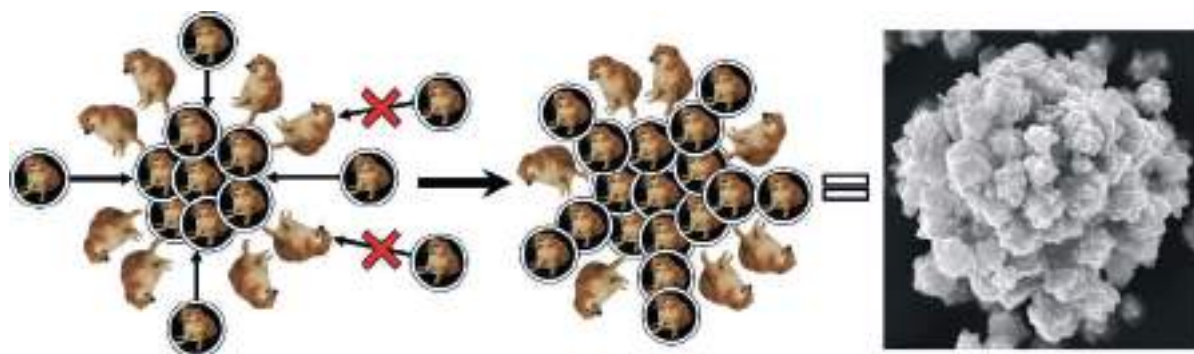


Figura 5. Mecanismo de formación de una nanopartícula con morfología tipo flor por polifenoles

En este sentido, un ejemplo es la síntesis de nanopartículas de oro empleando extracto acuoso de cáscara de toronja como agente reductor y estabilizante, en donde a partir de una disolución que contenía una sal de oro se le adicionó el extracto y se dejó reaccionar a temperatura ambiente, observando un cambio en la coloración de la disolución. Se obtuvieron partículas esféricas, planas hexagonales y triangulares con tamaños de entre 25 a 325 nm. Estas nanopartículas fueron empleadas como sensores de iones metálicos en el agua, ya que estas partículas se unen con algunos iones y cambia de color la disolución, lo cual evidencia a simple vista la presencia de dichos iones en el agua [4].

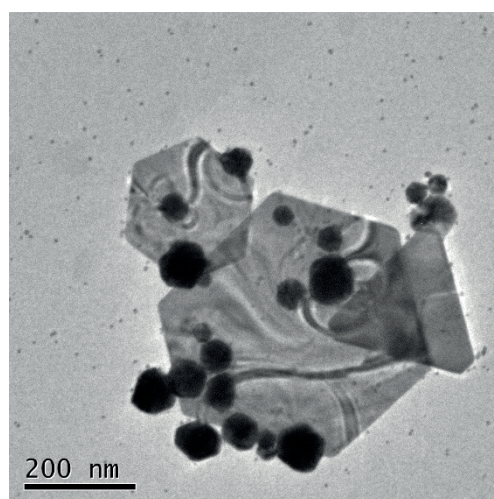


Figura 6. Nanopartículas de oro obtenidas a partir de extracto de cáscara de toronja

4. Conclusiones

En este trabajo solo se abordó la biosíntesis de nanopartículas a partir de extractos de plantas, pero es importante recordar que se emplean una gran diversidad de entidades biológicas que van desde los microorganismos hasta

las plantas y que actualmente este campo de estudio sigue siendo desconocido y aún quedan muchas cosas que investigar. Aunque la biosíntesis presenta ventajas ambientales, actualmente hay áreas de oportunidad que abordar, como la reproducibilidad de los procesos para el control del tamaño y la forma de las partículas, además de una mayor comprensión de los mecanismos de formación detrás de la síntesis de nanopartículas, ya que varían entre los diferentes tipos de plantas empleadas.

5. Referencias

- [1] Shah, M., et al., *Green Synthesis of Metallic Nanoparticles via Biological Entities*. Materials (Basel), 2015. **8**(11): p. 7278-7308.
- [2] Abbas, M., et al., *Natural polyphenols: An overview*. International Journal of Food Properties, 2017. **20**(8): p. 1689-1699.
- [3] Fernández de Córdova, M.L. and A.R. Medina, *Chapter 29–Analytical Methods for Determination of Polyphenols in Beer*, in *Processing and Impact on Antioxidants in Beverages*, V. Preedy, Editor. 2014, Academic Press: San Diego. p. 289-299.
- [4] Silva-De Hoyos, L.E., et al., *Plasmonic and fluorescent sensors of metal ions in water based on biogenic gold nanoparticles*. Arabian Journal of Chemistry, 2020. **13**(1): p. 1975-1985.

Un ácaro que habita en las pestañas: *Demodex* spp en diabéticos

Vargas Arzola, Jaime¹, Bernardino Hernández, Héctor Ulises¹, Moreno Rodríguez, Adriana¹

¹Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca, Avenida Universidad
S/N, Ex Hacienda Cinco Señores, Oaxaca 68120, México.
arimorio@hotmail.com

Resumen. El ácaro *Demodex* sigue siendo común en la población general y en poblaciones inmunocomprometidas debido a algunas afecciones médicas; dos especies de este ácaro afectan a los humanos: *Demodex folliculorum* y *Demodex brevis*; aunque su patogenicidad ha sido aún controvertida, su importancia patológica ha aumentado.

Se realizó la recolección de información para determinar los factores de riesgo por infestación de *Demodex* spp en las pestañas de un grupo de personas adultas diabéticas. Encontrando un total de 89 personas positivas a la presencia de *Demodex* spp, de los cuales 74 se presentaron en mujeres y solo 15 en hombres. Los factores asociados a este estudio de investigación fueron la edad, en donde la presencia principal se encuentra en personas de edad superior a 51 años. Factores como el transporte público, el aseo personal (baño diario), la presencia de animales domésticos, antecedentes de infección ocular, uso de cosméticos, cremas faciales, delineadores, depiladores, empleo de lentes, haber padecido cirugía ocular, transcurso de diabetes mayor a cinco años, descontrol de diabetes de acuerdo con la medición de glucosa en sangre total y el no utilizar tratamiento para el control de la diabetes. Se concluye que la prevalencia fue de 29.6%; se identificaron las especies en las cuales hubo una mayor proporción de *Demodex folliculorum*, y todos los factores de riesgo documentados en investigaciones anteriores se asocian y actúan también como factores de riesgo de infestación de *Demodex* spp en nuestra investigación realizada.

Palabras clave: ácaro, *Demodex* spp, diabético, parasitación.

1. Introducción

Demodex es un ácaro, caracterizado por vivir como comensal en la unidad pilosebácea, que principalmente se alimenta de sebo y que tiene una distribución geográfica amplia en todo el mundo [1]. Existen enfermedades crónico-degenerativas que afectan a los adultos, como lo es la enfermedad coronaria, enfermedades cerebro-

vasculares, osteoarticulares, pulmonares, obstructivas y óticas [2]; así como también enfermedades de tipo psiquiátrico, diversas variedades de cáncer, enfermedades oculares, endocrinas e infecciosas por órganos-sistemas, aunado a enfermedades de tipo metabólico, como es el caso particular de la diabetes mellitus 2, en donde estas enfermedades inmunosuprimen al sistema inmunitario, lo que las hace blanco de una parasitación, como es el caso de la demodicosis [3,4,5,6].

La infección parasitaria causada por el ácaro *Demodex spp* es una patología crónica a nivel mundial cuyas prevalencias documentadas son de 0 y 100%. El valor aumenta con la edad, y dependiendo de su ubicación en el mundo es más frecuente en países tropicales [7]; por citar un ejemplo, en el estado de Oaxaca se ha reportado una prevalencia de *Demodex* en la población general universitaria, mientras que en la población general joven se ha registrado una alta prevalencia en comunidades marginadas [8,9]. Se han realizado estudios solo en la región de Valles Centrales, mientras que en la región del istmo de Tehuantepec no se han reportado estudios previos, encontrándose en estas zonas con la mayor población de personas adultas diabéticas, siendo este padecimiento principal la inmunosupresión por encima de otras patologías en las personas. Además del estilo de vida, edad y sexo, que se asocian a factores de riesgo documentado en una parasitosis por *Demodex spp*, al ser poco documentada esta parasitación en personas inmunosuprimidas, se analizó la infección del ácaro en *Demodex spp* en personas adultas diabéticas, determinando la prevalencia, especie con mayor frecuencia y factores de riesgo asociados a esta infestación.

2. Fundamentos teóricos

Demodex (griego: demos, ex–carcoma). El ácaro *Demodex* fue descubierto por Berger en 1841 en el oído externo y por Henle en un caso de acné facial [10]. En 1842, Simón lo describió de inicio [11], y posteriormente Owen, en 1843, propuso el término *Demodex folliculorum* [10]; sin embargo, Becker en 1875 fue el primero en encontrar a *Demodex* en la región ocular, específicamente en el ducto excretorio de una glándula de Meibomio [10]; en 1878, Majocchi, lo diagnosticó en un chalazión, que es un quiste en el párpado, de un paciente con blefaritis crónica [10]; y hacia 1919, Hirst describió el ciclo evolutivo como sigue: huevo, larva, protoninfa, deutoninfa y adulto [12].

La demodicosis es una ectoparasitosis ocasionada por ácaros del género *Demodex*. Estos ácaros son cosmopolitas y se comportan como comensales de la unidad pilosebácea, en la que se alimentan de sebo, restos celulares, plasma y bacterias [1].

En humanos se han reportado dos especies: la primera, *Demodex folliculorum*, la cual es larga y vive en el ducto pilosebáceo, sobre todo en el infundíbulo folicular, y *Demodex brevis*, que es un ácaro más pequeño con tropismo hacia las glándulas sebáceas y que parasita, principalmente, las glándulas de Meibomio [13].

Los ácaros se agrupan en sitios corporales donde las glándulas sebáceas son numerosas y hay abundante producción de grasa. *Demodex folliculorum* puede encontrarse de forma individual o en grupos en la apertura folicular, mientras que *Demodex brevis* solo se encuentra en la glándula sebácea y como único individuo. Su morfología, le permite encontrarse con mayor frecuencia en los folículos pilosos de pliegues nasolabiales, la nariz, las mejillas y los párpados [14], sienes, barbilla, cuero cabelludo [15], y en el tórax [16].

3. Desarrollo del trabajo

Se realizó un estudio con diseño observacional con nivel de investigación tipo descriptiva de corte transversal en los pacientes muestreados. Por cada uno de los individuos muestreados se obtuvieron 16 pestañas en total por depilación; de cada ojo se tomaron 8 pestañas, las cuales se colocaron en una bolsa de celofán, se identificaron con nombre y número de folio, para después almacenarlas en un recipiente de plástico de cierre hermético y

hacer su posterior observación en el microscopio, en el que se colocaron, en un portaobjetos, KOH con pestañas y se analizaron para hacer la búsqueda intencionada. Una muestra se consideró positiva si se detectaban 5 ácaros adultos por cm^2 en el material de estudio, tal como se muestra en las Figuras 1a y 1b [17].



Figura 1a. *Demodex folliculorum*, en objetivo de 10x con ocular micrométrico para caracterización de la especie por micromorfología.



Figura 1b. *Demodex brevis*, en objetivo 10x con ocular micrométrico para la caracterización de la especie por micromorfología. Autoría propia

El muestreo lo conformó una población de 300 personas, de las cuales participaron 72% mujeres y 28% hombres, con un promedio de edad de 49.4 ± 13.2 años, encontrando que la mayoría supera los 51 años. Utilizando el transporte público, un 69%. El promedio de baño por día fue de 2.1 ocasiones, donde resalta la frecuencia de baño de dos veces al día. La presencia de animales domésticos es del 67%.

La mayoría no refiere infección ocular con un 29%, y los que sí cuentan con antecedentes de infección ocular contaron con un tratamiento, ascendiendo a un 27%; mientras que el 37.6% indicó el uso de cosméticos, el 41% cremas faciales, un 32.3% emplea depiladores y el 31.3% delineadores; además, el 56.6% utiliza lentes, y los antecedentes en cirugía ocular, que corresponden a un 14.3%, tuvieron una baja en la población estudiada.

Las personas muestreadas con diabetes mellitus presentaron los siguientes datos de su enfermedad: el tiempo con transcurso de la enfermedad mantuvo un promedio de 8.3 años, en el que el rango en donde se presenta más tiempo padeciendo diabetes fue mayor a 6 años, que corresponde a un 52.3%, seguido del intervalo de

o a 5 años, con un 47.6%. La mayoría de la población no tiene control con la diabetes, tomando en cuenta su última medición de glucosa, en donde hasta 130 mg/dL es un control y > 130 mg/dL se toma sin control alguno, 98.3%, en donde el nivel debajo de glucosa fue de 130 mg /dL, que correspondió a glucosa, mientras el más elevado fue de 420 mg/dL. Asimismo, gran parte de la población, alrededor del 89.3%, utiliza un tratamiento farmacológico para la diabetes, siendo la glibenclamida de 47.3% y la de mayor uso, seguido de la metformina 38.8%, glimepirida 4.5%, vildagliptina 1.8%, y la asociación metformina-glibenclamida 7.4%.

De un total de 300 muestras, el 29.7% fueron positivas al parásito, demostrando una prevalencia general de 30%, como se explica en la Figura 2, y la especie con mayor frecuencia hallada fue *Demodex folliculorum*, con 66%, seguida de *Demodex brevis*, con un 34%, tal como lo demuestra la Figura 3.

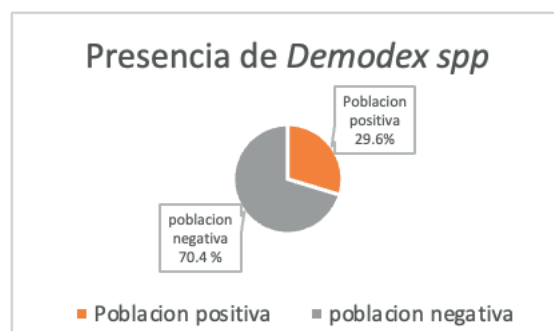


Figura. 2. La presencia de *Demodex spp* se encuentra en el 30% de la población. Autoría propia

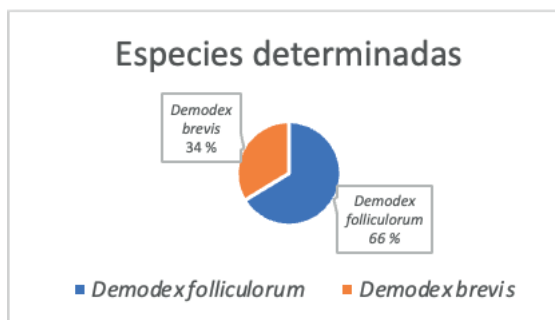


Figura. 3. La especie con mayor frecuencia hallada en esta investigación fue *Demodex folliculorum*, seguida de *Demodex brevis*. Autoría propia

Las variables que se asociaron significativamente a la presencia de *Demodex* fueron el sexo femenino, con un 24.6%; una edad mayor de 51 años, que representó un 16.6%; el uso de transporte público, de un 35.7%; el aseo personal, el cual se refiere al baño diario, fue del 86.1%, que lo realiza una vez al día; la interacción con animales fue de 35.3%; antecedentes en ojos tales como la infección ocular correspondió a un 40.2%, que fue mayor con respecto al uso de cosméticos, que fue de 38%; el 45.5% utilizó cremas faciales; el 38.1% utilizó depiladores con un uso de delineadores del 40.4%; el 37% utiliza lentes, y el 62.7% refiere haber padecido cirugía ocular. El tiempo de transcurso de diagnóstico de diabetes fue mayor a seis años, con un 38.8%, y el 62.5% utilizó un tratamiento para diabetes.

Del mismo modo, se observaron valores de OR que indicaron un aumento del riesgo, en variables como el sexo femenino, la edad mayor de 51 años, el empleo de transporte público, el aseo personal una vez por día, la

interacción con animales, los antecedentes de infección ocular, el uso de cosméticos, el uso de cremas faciales, el uso de depiladores, el uso de delineadores, el uso de lentes, el haber padecido cirugía ocular, el tiempo de transcurso de diabetes mayor de seis años, el descontrol de diabetes, y el no uso de tratamiento para la diabetes incrementaron 2.35 veces, 1.7 veces, 2.9 veces, 2.46 veces, 22.0 veces, 2.5 veces, 2.0 veces, 2.61 veces y 1.70 veces, respectivamente, en quienes tuvieron una mayor probabilidad de manifestar la infección por dicho parásito.

4. Conclusiones

La prevalencia de *Demodex* spp fue de 29.6% en la población estudiada, siendo la especie con mayor frecuencia *Demodex folliculorum*, y el sexo femenino el que muestra una probabilidad de presentar 2.3 veces más la infestación que en el sexo masculino, con una edad promedio mayor de 51 años; usando el transporte público antes que el privado; con un aseo de una ocasión al día se encontró que fue 22 veces menor que los de 2 veces al día; las mascotas en el hogar es un factor de riesgo significativo, ya que aumenta la probabilidad estadística de presentar la infestación en 2.5 veces más en comparación con aquellas personas que no tienen. Los antecedentes de infección ocular se identificaron como un factor de riesgo significativo, con una probabilidad estadística de presentar 2 veces más la infestación del ácaro en comparación con aquellos que no han experimentado alguna infección ocular previa; además, el uso de cosméticos, cremas faciales, depiladores y delineadores son factores de riesgo, con una probabilidad estadística de presentar la infestación 1.9 veces más en el caso de cosméticos, 3.6 veces más en el caso de cremas faciales, 1.8 veces más en el caso de depiladores y 2.1 veces más en el caso de delineadores, en comparación con aquellas que no utilizan estos productos. El empleo de lentes reveló ser un factor de riesgo en el que aumenta la probabilidad estadística de presentar la infestación 2.4 veces más que en personas que no los emplean. El haber padecido alguna cirugía ocular estableció ser un factor de riesgo a la infestación, que eleva la posibilidad 5.3 veces más que en personas que refirieron no haber pasado por dicho procedimiento.

El transcurso de la diabetes por más de 6 años, el descontrol de la diabetes a través de los niveles de glucosa y el no uso de tratamiento para dicha enfermedad evidenciaron ser factores de riesgo para la infestación por este ácaro. Estos factores acrecentaron la probabilidad estadística de presentar dicha infestación: 2.6 veces más en personas con un transcurso de diabetes superior a 6 años, 1.70 veces más en personas con un control glucémico deficiente, y 4.8 veces más en personas que no usaron el tratamiento farmacológico recomendado para la diabetes.

5. Referencias

- [1] S. Cruz, L F. Ruiz, F. Gómez, M E. Vega, y R. Arenas, “Ectoparásitos fantásticos y cómo encontrarlos: *Demodex*”, vol. 17, pp. 135–145, jun. 2019.
- [2] B. Herrera, S. Ruiz, A. Zapién, G. Sánchez, y H U. Bernardino, “Factores de riesgo para obesidad en población femenina del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México”, *Colegio de Médicos y Cirujanos de Costa Rica*, pp. 13–17, 2020.
- [3] “Envejecimiento y salud”. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>.
- [4] C. D’Hyver, “Patologías endocrinas más frecuentes en el adulto mayor”, *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, pp. 45–57, abr. 2017.
- [5] C. García, “Enfermedades Endocrinas En El Adulto Mayor”, *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 24, pp. 866–873, 2013.

- [6] “INFECCIONES POR ÓRGANO/SISTEMA”. Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica. <https://www.seimc.org/documentos-cientificos/infecciones-por-organo-sistema>.
- [7] L. Alberto, D. Pérez, y J. Camargo, “Prevalencia De Demodicosis En Las Pestañas En Trabajadores De La Salud Del Hospital Militar Central Bogotá”, Proyecto Especialista en Oftalmología, Colombia, 2016.
- [8] J. Vargas, A. Segura, H. Torres, M. Urbina, S. Aguilar, D L. Díaz, A. Márquez, L. Morales, N. Vásquez y B. Nogueta, “Prevalence and risk factors to Demodex folliculorum infection in eyelash follicles from a university population of Mexico”, *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*, pp. 1–5, Mar 2020.
- [9] J. Vargas, L. Reyes, A. Segura, A. Márquez, D. Díaz, y B. Nogueta, “Prevalence of Demodex mites in eyelashes among people of Oaxaca, Mexico”, *Acta Microbiol Immunol Hung*, vol. 59, núm. 2, pp. 257–262, jun. 2012.
- [10] Norn MS, “Incidence and possible pathogenic role in the human eyelid”, *Acta Ophthalmol.*, Vol 108:1-85, 1970.
- [11] Forton F, Seys B, “Density of Demodex folliculorum in rosacea: a case control study using standardized skin surface biopsy”, *British J Dermatol*, Vol. 128, pp. 650-659, 1993.
- [12] R Corredor, A. Nava, JL. Tovilla, JL. Tovilla, S. Muñoz, “Blefaritis por Demodex folliculorum”, *Rev. Fac Med UNAM*, Vol. 43:125-9, 2000.
- [13] J. César, J. Olivares, J. Domínguez, M. Teresa, H. Tomoka, y J. M. Díaz, “Demodecidosis: una revisión clínica y terapéutica Demodecidosis: A review of current trends”, *Dermatología Cosmética, Médica y Quirúrgica*, 2014.
- [14] Al. Godínez, CE. Medina, L. Velásquez, CJ. SE. González, “Prevalencia de los ácaros Demodex folliculorum y Demodex brevis en una población mexicana”, *Medicina Universitaria*, vol. 6, núm. 23, pp. 96–100, 2004.
- [15] G. Plewig, “The Role of Demodex”, *Acne and Rosacea*, pp. 482-483, 1993.
- [16] N Delfosa, Ann F.S, y Frank P, “Demodex folliculitis: a skin manifestation of immune reconstitution disease”, *AIDS*, vol. 18, 2004.
- [17] C. Toloza, “Demodex spp. Demodex spp”, *Bol. Micol*, vol. 36, núm. 2, pp. 12–14, 2021.

Una visión sobre la Toxoplasmosis en población asintomática

Lázaro Jiménez, Omar¹, Hernández Ericel², Torres Rosas, Rafael², De Fuentes Vicente, José Antonio³, Moreno Rodríguez, Adriana²

¹ ARH Laboratorios, Violetas 502, Colonia Reforma, C.P. 68050, Oaxaca, Oaxaca.

² Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca, Avenida Universidad S/N, Ex Hacienda Cinco Señores, Oaxaca 68120, México.

³ Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez 29039, México.

⁴ Centro de Estudios de la Salud y la Enfermedad, División de Posgrado, Facultad de Odontología, Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca, Avenida Universidad S/N, Ex Hacienda Cinco Señores, Oaxaca 68120, México.

e-mail: arimorio@hotmail.com

Resumen. El parásito *Toxoplasma gondii* cuenta con una amplia distribución geográfica. La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que al menos el 95% de la población mundial ha tenido contacto con el parásito; no se cuenta con un número determinado para la población de Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. La toxoplasmosis puede encontrarse en la mayoría de los casos de forma asintomática y en ocasiones los síntomas pueden afectar al Sistema Nervioso Central (SNC), Sistema Ocular, generalizada o congénita, en el que provoca convulsiones, retinocoroiditis o incapacidad intelectual. El diagnóstico se hace en diferentes líquidos corporales, incluido el líquido cefalorraquídeo y el suero. La detección puede realizarse por métodos directos e indirectos. El objetivo principal de este trabajo fue determinar la prevalencia en pacientes aparentemente sanos y asintomáticos mediante la determinación de Anticuerpos IgG en Suero, cuantificado por Inmunoensayo por el sistema VITROS Immunodiagnostic Products. Dentro de los pacientes muestreados se obtuvieron un total de 200 voluntarios, con lo que de la población se encuentra una positividad del 23%, que corresponde a un 10.5% para mujeres y un 12.5% para la población femenil, que se encuentra por debajo de los números señalados por la OMS, llevando a un número actualizado de la población que ha tenido contacto con *Toxoplasma gondii*. En conclusión, los pacientes de la Ciudad de Oaxaca cuentan con una prevalencia en personas asintomáticas de un 23% de manera local, de acuerdo con lo reportado por ARH Laboratorios, por cuantificación de IgG.

Palabras clave: *Toxoplasma spp*, Pacientes, Ausencia de síntomas, portador, Sistema nervioso central (SNC).

1. Introducción

La toxoplasmosis es una enfermedad ocasionada por el parásito intracelular obligado denominado *Toxoplasma gondii*, descrita en 1908 por primera vez por Charles Nicolle y Manceaux, en un hígado y bazo de un tipo de roedores africanos denominados *Ctenodactylus gundii*; presenta tres formas infectantes: Ooquiste u oocisto, taquizoito o trofozoito y el bradizoíto.

La forma de transmisión y la prevalencia de la infección de la toxoplasmosis se debe a hábitos higiénicos deficientes, además de consumo de carne cruda o mal cocinada a temperaturas por debajo de 70 °C, además de no realizar adecuadamente la higienización de frutas y verduras que hayan sido contaminadas por el parásito. Los alimentos al tener contacto con las heces de animales infectados ingresan al individuo por vía digestiva; es importante señalar que no todos los gatos se encuentran infectados por el parásito y en particular los gatos intradomiciliados nunca adquieren la parasitosis a lo largo de la vida.

En el año 2004, Montoya y colaboradores hacen referencia a que aproximadamente del 25 al 30% de la población humana mundial se encuentra infectada con *Toxoplasma gondii*, pero existe variabilidad entre continentes y diversos países; además, dependiendo de la región, las prevalencias se han reportado desde un 10 a un 80% y dentro de un mismo país existe variabilidad con prevalencia baja de un 10 a un 30%; las localidades donde se han observado estas últimas se encuentran en Norteamérica, el sureste asiático, en Europa del Norte y algunos países africanos. Los países con prevalencias moderadas van desde el 30 al 50% en el centro y sur europeo; las mayores cifras epidemiológicas se centran en América latina y países de África tropical. En la república mexicana se encuentra una prevalencia cercana al 40%. En algunas regiones como la costa del golfo de México y la península de Yucatán existe una mayor prevalencia, superando hasta un 70%. Aproximadamente 2 de cada 1000 recién nacidos en el centro del país presentan toxoplasmosis congénita y en otras partes del país hay 4000 niños infectados anuales asintomáticos o con probable desarrollo de secuelas. Actualmente, no se cuenta con un registro nacional de pacientes asintomáticos o por grupos poblacionales [1]. Los objetivos del presente estudio fueron determinar la prevalencia de la infección por *Toxoplasma gondii* en pacientes asintomáticos que habitan en el área de Oaxaca de Juárez, ubicada en el Valle del estado de Oaxaca, México, por ARH Laboratorios, mediante inmunofluorescencia para la cuantificación de anticuerpos IgG.

2. Fundamentos teóricos

Generalidades. La toxoplasmosis es una enfermedad ocasionada por el parásito *Toxoplasma gondii*. Es capaz de infectar tanto a mamíferos como a aves, incluyendo al ser humano. La OMS argumenta que al menos un 95% de la población mundial ha sido infectada por el parásito sin presentar ningún síntoma, pero al encontrar las condiciones para su desarrollo, presenta manifestaciones, dependiendo del órgano que es afectado o sistema; la infección puede transcurrir de diversas formas, entre las que se encuentran alimentos como las frutas y verduras o carne infectada con poca cocción. Entre los animales domésticos capaces de transmitirlos se encuentran los gatos, que son los huéspedes por excelencia, y se tiene evidencia de que al tener contacto con heces contaminadas pueden llegar al ser humano. Los gatos son fundamentales en el ciclo de vida del parásito, mas no es exclusiva la presencia en ellos [2,3].

Agente y patología. Las infecciones pueden manifestarse como Toxoplasmosis: aguda, congénita, ocular, asociada al SNC y la generalizada que no afecta el SNC en pacientes inmunosuprimidos. Las personas que

corren el mayor riesgo de manifestaciones clínicas resultado del contagio son las personas con sistemas inmunitarios deficientes, y las mujeres embarazadas tienen un mayor riesgo de desarrollar una forma severa de la enfermedad. En personas sanas puede permanecer la fase aguda, que puede ser asintomática, y en algunos casos permanecer latente. En pacientes con inmunodepresión se activan los taquizoítos, los cuales se multiplican rápidamente y producen cefalea, somnolencia, letargia, anorexia; en casos severos se manifiesta en su forma gastrointestinal, tos con expectoración, convulsiones e inclusive llegar al coma, ya que afecta el sistema nervioso central, poniéndose en riesgo la vida de quien la padece [4].

Las mujeres embarazadas se infectan en el primer trimestre del embarazo, llevando al riesgo de transmisión congénita, que va desde un 65%, disminuyendo hasta en un 10 al 15% si no fue en el primer trimestre; en estas transcurre en su mayoría de forma benigna o asintomática; si no hay infección de la madre hasta seis meses antes del embarazo (inicio de la gestación), el producto no desarrolla infección congénita, además de existir antecedente de que si una madre transmite el parásito al primer hijo, el segundo no desarrollará la enfermedad; en algunos casos se asocia en el caso de abortos en infecciones recientes, no encontrándose como determinante la asociación de abortos estrictamente relacionados con la toxoplasmosis. La aparición de los síntomas en recién nacidos se encuentra relacionada con el momento de la infección de la madre. El parásito presenta tres formas infectivas: oocito, trofozoíto o bradizoíto con un ciclo sexual y asexual, de manera que se produce por vía digestiva y transplacentaria, aunque existen las vías parenteral, mucosa, respiratoria, cutánea o mucosa, de acuerdo con lo indicado en la Figura 1, que es el ciclo biológico transmitido por panteras y felinos [5].

Diagnóstico. Se realiza mediante métodos indirectos que se basan en detección en fluidos corporales como saliva, suero o plasma, leche, lágrimas o líquido cefalorraquídeo, líquido amniótico e intraocular, entre los que se enuncian la prueba del colorante, inmunoaglutinación en látex, inmunofluorescencia indirecta, inmunoensayo y Western Blot. El diagnóstico directo incluye la cuantificación de anticuerpos anti-toxoplasma gondii en su forma IgG (contacto del parásito en el transcurso de la vida), la cuantificación de IgA (se asocia a infecciones agudas) e IgM positivos con IgG negativos (indican una infección crónica y el individuo se infectó en meses anteriores); debido a que la IgM puede encontrarse meses posteriores a la infección, los lineamientos para la toma, manejo y envío de muestras para el diagnóstico a la Red Nacional de Laboratorios de Salud Pública en el año 2020 indica que se requieren suero o líquido cefalorraquídeo con un volumen mínimo de 500 mL conservados a una temperatura menor de 8 °C, para determinar anticuerpos anti toxoplasma tipo IgG e IgM por inmunofluorescencia indirecta para confirmación de seropositividad [6].

Tratamiento. Actualmente, el tratamiento no es del todo satisfactorio, siendo de primera elección pirimetamina con sulfadiacina, misma que se administra en la fase aguda de la enfermedad; los de segunda elección son azitromicina e hidroxinaftoquinona, misma que funciona como autovacuna.

Prevención. La profilaxis consiste en mantener adecuada higiene, que consiste en lavado de manos y evitar el contacto con el suelo, agua, animales o personas que puedan estar contagiados, no tener contacto con carne cruda o jugos de las mismas no cocinadas adecuadamente antes del consumo, cocinar a una temperatura superior a los 70 °C para eliminar al parásito de los alimentos, conservar adecuadamente las materias primas con las que se prepararán los alimentos a temperaturas inferiores a 5 °C o superiores a 70 °C, para evitar el crecimiento de los patógenos, además de enfatizar el lavado adecuado de frutas y verduras, retirando las cáscaras y pelarlos de ser necesario [7,8].

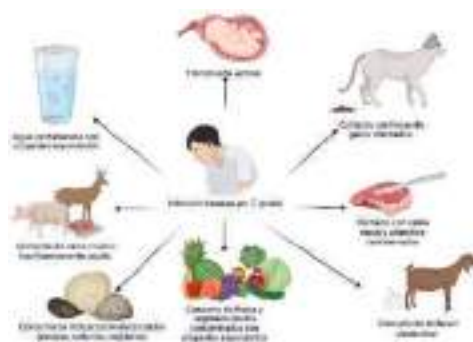


Fig. 1. Mecanismos de transmisión de *Toxoplasma gondii* (Rivera 2022)

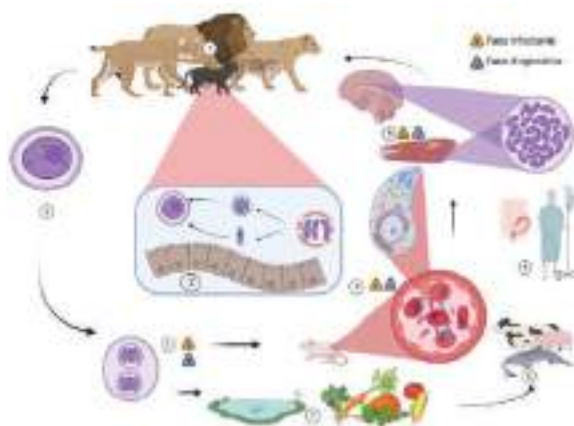


Fig. 2. Ciclo de vida *Toxoplasma gondii* (Rivera 2022)

3. Desarrollo del trabajo

Se extrajeron 5 mL de sangre venosa, permitiendo la coagulación de la misma durante 15 minutos, centrifugando para obtener la parte líquida de la sangre (también denominada suero). La obtención de muestras incluyó a un total de 200 individuos, que no presentaban síntomas correlacionados con toxoplasmosis, todos con características de personas aparentemente sanas. Para este fin se llevó a cabo la búsqueda de anticuerpos *Toxoplasma gondii* IgG de la zona de Oaxaca de Juárez y zonas conurbadas. Se utilizó la técnica de inmunoensayo, en la que se implica la reacción del anti-IgG de toxoplasma proveniente de la muestra de suero de cada paciente y posteriormente se pone en contacto con el antígeno de la prueba.

Esta prueba requiere del antígeno monoclonal anti-IgG humana monoclonal de ratón, que al encontrarse marcado con peroxidasa de rábano, forman el complejo con el conjugado anti-IgG de toxoplasma; una vez finalizada la reacción se añaden luminógenos y el agente de transferencia de electrones para incrementar el nivel de luz producida y dar señales luminosas, que son leídas por el sistema VITROS Immunodiagnostic Products, y la cantidad del conjugado es directamente proporcional a la concentración de IgG presente, tal como se muestra en las Figuras a y b [1,5,9].

Una visión sobre la Toxoplasmosis en población asintomática

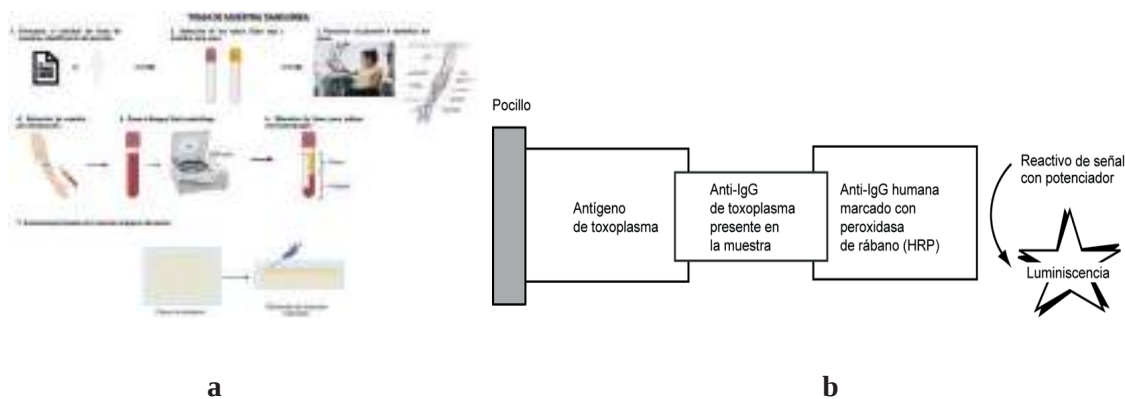


Figura 3. Esquema de reacción: a) toma de la muestra y b) esquema de reacción para la cuantificación

Tabla 1. De un total de 200 pacientes muestreados de manera aleatoria sin presencia de síntomas se detectaron 23% positivos y 77% negativos de forma global. N/A= No aplica

	Positivos n= 46	
	Hombres	Mujeres
Número de pacientes	25 (12.5%)	21 (10.5%)
Rangos de edad	18 a 84 años	28 a 74 años
Media de edad	51 años	49 años
Presenta Síntomas	0 %	0 %
Consumo de medicamentos	0 %	0 %
Pacientes en edad reproductiva	N/A	6 (3.0 %)

El porcentaje de prevalencia en pacientes asintomáticos con respecto a lo señalado por la OMS y diversos autores, correlaciona el porcentaje señalado en el año 2004 por Montoya y colaboradores, donde hace referencia a un valor de 25 a 30% de la población humana infectada por *Toxoplasma gondii*, además de encontrarse con los valores de América del Norte, en que se encuentra de 10 a 30%. Como se menciona a lo largo de la investigación, el total del 23% de las personas muestreadas se encontraron positivas, teniendo mayor frecuencia en hombres que en mujeres, en rangos de edad de 18 a 84 años para los hombres y de 28 a 74 para mujeres; en estas últimas es necesario enfatizar la importancia que radica del parásito, ya que en el caso del 3% que se encuentran en edad reproductiva, el estar enterados de la presencia de *Toxoplasma gondii*.

Es de fundamental importancia, puesto que en caso de concepción, el seguimiento del embarazo o incluso la probabilidad de contagio del hijo corre riesgo de transmisión congénita con probabilidad de desarrollar enfermedad o presentar secuelas, entre las más importantes, la microcefalia o hidrocefalia.

4. Conclusiones

El 23% de la población muestreada en Oaxaca de Juárez se encuentra infectada cuando se muestrean a población abierta y territorial, sin que presenten síntomas correlacionados con la toxoplasmosis, aunado a que no acudieron a la realización de la búsqueda intencionada del parásito, para contar con mayor cantidad de datos

epidemiológicos que permitan evaluar el comportamiento de hábitos higiénicos y de consumo de alimentos. Se proyecta realizar estudios consecutivos con un tamaño de muestra aún mayor.

5. Referencias

- [1] I. P. Concepción, J. V. Prado Quilambaqui, L. R. Ramírez López, and C. P. Padilla, "Prevalence of *Toxoplasma gondii* in asymptomatic pregnant women in Quito, Ecuador, 2020," *Bol Malariol Salud Ambient*, vol. 61, no. 3, pp. 436–442, Jul. 2021, doi: 10.52808/bmsa.7e5.613.008.
- [2] I. Martín-Hernández, D. Susana, and M. García-Izquierdo, "Toxoplasmosis en el hombre," 2003.
- [3] L. Yang *et al.*, "Epidemiology and isolation of viable *Toxoplasma gondii* strain from macropods," *Heliyon*, vol. 9, no. 3, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e13960.
- [4] J. Kauter *et al.*, "Detection of *Toxoplasma gondii*-specific antibodies in pigs using an oral fluid-based commercial ELISA: Advantages and limitations," *Int J Parasitol*, vol. 53, no. 9, pp. 523–530, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.ijpara.2022.11.003.
- [5] F. Gómez-Chávez, J. M. Murrieta-Coxca, H. Caballero-Ortega, D. M. Morales-Prieto, and U. R. Markert, "Host-pathogen interactions mediated by extracellular vesicles in *Toxoplasma gondii* infection during pregnancy," *J Reprod Immunol*, vol. 158, p. 103957, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.jri.2023.103957.
- [6] [6] "Lineamientos de toxoplasmosis 2020 poner en diagnóstico".
- [7] B. Šušak, K. Martinović, S. Jakovac, and J. Arapović, "Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* among general population in Bosnia and Herzegovina: 10-Years single center experience," *Clin Epidemiol Glob Health*, vol. 22, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.cegh.2023.101336.
- [8] J. J. Ollos Méndez, "Abordaje de diagnóstico y terapéutico de la toxoplasmosis congénita. Diagnostic and therapeutic approach to congenital toxoplasmosis." [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0002-3047-7454>
- [9] D. A. Salem, A. H. Al-Ghamdi, J. M. Alghamdi, A. Ismail, B. A. Alghamdi, and E. Abdelrazek, "Toxoplasma and Toxocara seropositivity in juvenile idiopathic arthritis and its relation to disease activity and type of therapies," *Food Waterborne Parasitol*, vol. 31, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.fawpar.2023.e00195.

Extracción de un colorante natural a base de remolacha como una alternativa en la industria textil

Cuadros Servín María Guadalupe², Regino Andrade Orlando², García Rivas José Luis¹, Millán Olvera Beatriz Magdalena²

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de México, México.

² Instituto Tecnológico de Toluca, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Metepec, Estado de México, México.

L20280652@toluca.tecnm.mx

Resumen. Uno de los recursos vitales para el ser humano es el agua, sin embargo, se ha visto afectado por diferentes factores, entre los cuales se destaca la descarga de aguas residuales provenientes de las industrias textiles, debido a los colorantes de origen químico con los que tiñen los productos. Este trabajo presenta la obtención del colorante natural de la remolacha mediante la extracción sólido-líquido con un equipo Soxhlet; posteriormente se concentró con una destilación utilizando un rotovapor. El colorante obtenido se caracterizó mediante un espectrofotómetro Uv-vis, obteniendo una longitud de onda de 477 nm dentro del espectro electromagnético, lo que lo clasifica en el rango de los violáceos. Finalmente se aplicó en una prenda de algodón, usando como mordiente sulfato de aluminio y potasio, logrando teñir el textil satisfactoriamente.

Palabras clave: Agua, contaminación, colorante, remolacha.

I. Introducción

El Estado de México tiene el primer lugar en producción textil a nivel nacional, siendo los colorantes sintéticos empleados en esta industria los que presentan compuestos tóxicos con alto peso molecular, que al estar presentes en las descargas industriales y acumularse en lagos o cuerpos de agua provocan disminución en la transparencia de las aguas, actividad fotosintética, así como en la del oxígeno disponible, aumento de carga orgánica y contaminación tóxica. El fenómeno conocido como “Fast fashion” conlleva una mayor cantidad de producción de textiles y, por lo tanto, el uso masivo de colorantes sintéticos [1].

Una manera de reducir este gran impacto ambiental es empleando el uso de colorantes naturales, que a su vez representa una nueva forma de utilizar materias primas renovables que contribuyan al desarrollo sostenible y a conservar los recursos no renovables [2].

Por lo tanto, este trabajo se centró en la obtención de un colorante natural a partir de la remolacha, con el método de extracción sólido-líquido que permita eficientar la materia prima; posteriormente se concentró para su caracterización espectrofotométrica en el UV-vis [3] y su aplicación en una tela de algodón.

2. Fundamentos teóricos

Los colorantes evolucionaron a lo largo del tiempo con el fin de satisfacer las necesidades del hombre; el resultado de esas mejoras son los colorantes estandarizados de origen sintético que hoy en día conocemos.

Para que una sustancia se considere como colorante debe poseer color y poder transferirlo al medio al cual se aplica. Los colorantes pueden ser clasificados por su origen como colorantes sintéticos y colorantes naturales [3].

Un colorante sintético es elaborado por el hombre por medio de procesos químicos y que no existen por sí mismos en la naturaleza; por lo contrario, los colorantes naturales son obtenidos de fuentes vegetales, animales o minerales [4].

Este proyecto tiene como materia prima la remolacha, que es una hortaliza que pertenece a la familia *Amaranthaceae* y su nombre común en México es betabel; el colorante que contiene son metabolitos llamados betalaínas, las cuales son pigmentos hidrosolubles derivados del ácido betalámico; el colorante va desde colores amarillos muy intensos hasta rojos violáceos; la estabilidad del colorante depende del pH, temperatura, oxígeno y luz [5].

El teñido de las fibras depende de las características físicas y constitución química del material por teñir; con el aumento de la temperatura se incrementa el grado de desorden en la fibra y la velocidad de adsorción aumenta, lo que facilita la penetración del colorante [3].

El sulfato de aluminio y potasio es considerado como fijador, que facilita la uniformidad y brillo del color a la prenda; también conocido como mordiente, es el más común en el teñido con colorantes naturales, y tiene como principal ventaja que se puede aplicar en el mismo baño de tinturado, lo que lo hace un mordiente sencillo de usar.

3. Desarrollo del trabajo

Para la selección de las remolachas se tomaron en cuenta parámetros como la textura, consistencia y madurez de la remolacha. El análisis macromorfológico se describe en la Tabla 1, donde se muestran las descripciones correspondientes a la materia prima.

Tabla 1. Análisis macromorfológico de la remolacha

Especificaciones	Descripción
Forma	Ovalada
Peso promedio	143 g
Condición	Madura y fresca

Se realizó un lavado con una solución de hipoclorito de sodio al 10%; posterior a ello, la remolacha se secó en una estufa a 55 °C por un lapso de 24 horas. Una vez finalizado el secado, se determinó el porcentaje

de humedad, mediante la diferencia de pesos, obteniendo como resultado 51.66%. La remolacha debe estar completamente seca para obtener un colorante puro; al retener un porcentaje de humedad relativamente bajo, es inevitable que nuestro colorante sea impuro.

La extracción se realizó durante 2 horas, con un equipo Soxhlet, mostrado en la Figura 1, utilizando como solvente etanol al 90%, del cual se obtuvo un volumen de 759 mL de solución de solvente con colorante; lo anterior reafirma que este método es eficiente para la extracción.



Figura 1. Extracción sólido-líquido

La mezcla obtenida se transfirió a un rotovapor marca IKA modelo RV-10-B-S1, que trabajó bajo las siguientes condiciones: 80 rpm y temperatura del baño 70 °C. Se realizaron 3 corridas, 2 con 250 mL y la última con 300 mL debido a las características del equipo. Al destilarse la muestra, se dejó por un lapso de 2 horas, obteniendo 450 mL de colorante concentrado y 350 mL de alcohol al 90%. El colorante obtenido se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Colorante obtenido

El proceso de teñido se llevó a cabo humedeciendo el textil de algodón; se colocó en un litro de agua hirviendo en la que se disolvieron 25 g de sulfato de aluminio y potasio a 80 °C por 24 horas; una vez pasado

el tiempo, se colocó la playera en un baño de 2L de agua con 250 mL de colorante, llamado baño de tintoreo, por 1 hora a 80 °C. Pasado el tiempo de cohesión, se retiró del fuego y se dejó reposar el textil de algodón en el mismo baño durante 24 horas.

Para la caracterización del colorante se realizó un barrido en un espectrofotómetro marca Thermo Scientific, modelo GENESYS 10S UV-vis, para poder analizar la muestra; se realizó una filtración con un filtro de 0.45 μm , de 47 mm de diámetro, en un sistema de vacío. El máximo de absorbancia experimental para el colorante se leyó en $\lambda = 477 \text{ nm}$, comprobando que el colorante está dentro de los colores violáceos.

La prenda teñida obtuvo un color rosa fuerte (Figura 3) con uniformidad en todo el textil; con el propósito de eliminar el excedente de color, se realizó un lavado con un detergente neutro y abundante agua; una vez terminado el proceso de lavado se obtuvo un color en la prenda rosa palo con características de uniformidad y solidez en toda la prenda.



Figura 5. Tela teñida

4. Conclusiones

El colorante se obtuvo de manera satisfactoria y se comprobó que la remolacha posee un colorante que puede extraerse y tiene un gran potencial de teñido.

Mediante el equipo Soxhlet se logró la extracción sólido-líquido del colorante natural a base de remolacha, debido a la interacción directa de la muestra con el solvente. La destilación por rotovapor garantizó el control de los parámetros de temperatura y presión, además de que permitió recuperar el solvente puro, por lo que es un método conveniente para la extracción de un colorante natural.

La longitud de onda experimental de colorante de la remolacha (*Beta vulgaris*) no se encuentra en el rango teórico para la identificación de la betacianinas, sin embargo, entra en los parámetros para poder identificar al colorante dentro del espectro de los violáceos.

El colorante obtenido no es totalmente puro, puesto que durante el barrido se pudieron identificar interferencias, sin embargo, logró obtenerse el colorante natural de la remolacha y ser aplicado en una prenda de algodón.

5. Referencias

- [10] V. Hernández Varón, «Experimentacion con tintes naturales en bases textiles de fibras naturales,» *Universidad Pontificia Bolivariana*, 2017.
- [11] S. Mattavelli Junca, «Obtención de un colorante natural a partir de la clorofila de *Chlorella vulgaris* como alternativa al uso de colorantes sintéticos en la industria textil, Bogotá Colombia,» *Universidad El Bosque*, 2020.
- [12] D. F. Arévalo Gaybor y H. D. Sanaguano Amaguayo, «Obtención de colorante natural a partir de cúrcuma (*Cúrcuma longa linn*) para la industria textil,» *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, 2021.

- [13] M. A. Rincón Escobedo, «Diseño conceptual de proceso para obtención de colorante natural con carotenoides y cochinilla de grana (*Dactylopius Coccus*),» *Fundación Universidad de América*, 2022.
- [14] V. F. Marañón Ruiz y L. Rizo de la Torre, «Caracterización de las propiedades ópticas de Betacianinas y Betaxantinas por espectroscopía Uv-Vis y barrido en Z,» *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales*, 2011.

El uso del carbón con nanopartículas de calcio en la adsorción de Aflatoxina B₁

Pérez Gómez, Edgar Odilón¹, García Rosales, Genoveva¹, Longoria Gándara, Luis Carlos²

¹TECNM/Instituto Tecnológico de Toluca. Departamento de Posgrado. Avenida Tecnológico 100 s/n. Colonia Agrícola, Bellavista, La Virgen, 52149 Metepec, México.

²Division for Latin America/Department of Technical Cooperation International Atomic Energy Agency. Wagramer Strasse 5, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria.

eperezg2@toluca.tecnm.mx

Resumen. En este trabajo se presenta el estudio de adsorción de Aflatoxina B₁ (AFB₁) empleando biocarbón con nanopartículas de calcio (BNpsCa) como material adsorbente. Por lo cual se evaluó el proceso de adsorción mediante cinéticas e isothermas de adsorción de AFB₁ en función del incremento de la temperatura (20, 30 y 40 °C), encontrando que para la cinética de adsorción de AFB₁ las capacidades experimentales son de 31.5 a 26.1 µg/g de 20 a 40 °C. Mientras que para los estudios de isothermas de adsorción se observó una tendencia ligeramente lineal, lo cual indica que pueden ocurrir interacciones carbono-carbono entre el contaminante y el adsorbente, con capacidades máximas experimentales de AFB₁ de 38.5 a 30.41 µg/g de 20 a 40 °C. Por lo cual el uso de BNpsCa es un buen material adsorbente de AFB₁.

Palabras clave: Micotoxinas, AFB₁, Carbón.

1. Introducción

Las Aflatoxinas (AFs) son micotoxinas que se producen a partir de sustancias metabólicas secundarias generadas por los hongos *Aspergillus* [1], las cuales presentan estructuras químicamente estables que están enlazadas entre sí. Dentro de las AFs podemos encontrar la B₁, B₂, G₁, G₂ y M₁, siendo la de mayor riesgo la AFB₁ debido a que posee dos anillos de furano responsable de su toxicidad [2], llegando a modificar el Ácido Desoxirribonucleico (ADN), Ácido Ribonucleico (ARN) y las proteínas [3], además de que esta micotoxina se encuentra dentro del grupo 1 de cancerígenos de acuerdo con la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés). Es por ello que este trabajo tiene como objetivo sintetizar, caracterizar y evaluar la adsorción de la Aflatoxina B₁ en fase acuosa por medio de un carbón con nanopartículas de calcio, con la

finalidad de utilizarlo como aditivo alimentario. Debido a que los alimentos para los animales (piensos), para aves, ovinos y porcinos, están constituidos por cereales, grasas, probióticos, prebióticos y aditivos.

2. Fundamentos teóricos

2.1. Aflatoxinas

Las aflatoxinas (AF) pueden ser producidas por las especies de hongos *Aspergillus* (A): *A. flavus*, *A. parasiticus*, *A. nomius*. y *A. flavius*; de estas especies, las dos primeras (*A. flavus* y *A. parasiticus*) producen solamente aflatoxinas B, mientras las otras dos especies (*A. nomius* y *A. flavius*) producen ambos tipos de aflatoxinas, B y G. Las AFs son frecuentemente aisladas de alimentos como maíz, arroz, maní y otros que han tenido un mal manejo postcosecha [4]. La ingestión de aflatoxinas puede producir una enfermedad conocida como aflatoxicosis [5]. Sin embargo, la más peligrosa es la AFB₁ [6] por su efecto cancerígeno. Para esclarecer el efecto tóxico de estas micotoxinas en los seres vivos, se clasifican en exposiciones agudas y crónicas dependiendo del tiempo de exposición de estas.

La exposición aguda está relacionada con el consumo de altos niveles de aflatoxinas sobre periodos relativamente cortos (días). El efecto de la toxina ha sido frecuentemente reportado en animales tales como aves de corral, truchas, ratones y conejos, que sufrieron de aflatoxicosis aguda clínica después del consumo de piensos contaminados. En la intoxicación con aflatoxinas se observa una lesión hepática como coagulopatías, aumento de la fragilidad capilar, hemorragia y tiempos prolongados de coagulación [7].

La exposición crónica es más difícil de identificar, debido a que los animales y el hombre están expuestos al consumo de ciertas cantidades de toxinas durante toda su vida o por largos periodos de tiempo. La exposición crónica a la toxina induce la producción de células cancerígenas, convirtiéndolo en un problema de salud pública, especialmente cuando se asegura que del 20 al 50% de todos los cánceres están relacionados con factores de la dieta [8]. Razón por la cual esta micotoxina junto al virus de la hepatitis B son considerados como los factores de riesgo de cáncer hepatocelular en China y África del Norte, estimándose en 250 000 muertes anualmente.

3. Desarrollo del trabajo

Los experimentos de adsorción de AFB₁ fueron realizados por lotes; se utilizó un estándar de AFB₁ de la marca CHIRON® AS™, con el cual se preparó una solución de referencia para los análisis de adsorción. La determinación de la concentración de AFB₁ en los remanentes de cada muestra se realizó mediante un equipo UV-Vis Perkin Elmer® Lambda 35 a una longitud de onda de 234 nm.

Los estudios cinéticos de AFB₁ se realizaron en tubos de polipropileno, en donde se colocó 1 mg de BNpsCa con 5 mL de una solución de 18 µg/L; los experimentos se realizaron en un baño con agitación continua a 20, 30 y 40 °C, a los siguientes tiempos de contacto: 5, 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 720, 1440 y 2880 min. Mientras que, para evaluar la capacidad de adsorción de AFB₁ en función de la concentración inicial, se colocó en tubos de propileno 1 mg de BNpsCa con 5 mL de solución de AFB₁, con las siguientes concentraciones: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 y 18 µg/L. Los experimentos se realizaron en un baño con agitación continua a 20, 30 y 40 °C durante 24 h. Posteriormente, se separó el líquido del sólido y se determinó la concentración de AFB₁ por UV-Vis.

Teniendo como resultado que durante los estudios cinéticos y de isotermas de adsorción de AFB₁ en función de la temperatura (20, 30 y 40 °C) (Figura 1) el proceso de adsorción disminuye. De acuerdo con Brusseau y Chorover, esto se debe a que conforme incrementa la temperatura del sistema, la solubilidad de los contaminantes orgánicos aumenta [9]. Por lo cual, para la cinética de adsorción de AFB₁ se observa que a los primeros minutos empieza el proceso de adsorción hasta los 180 min que llega al equilibrio (Figura 1a), con

capacidades experimentales de 31.5 a 26.1 $\mu\text{g/g}$ de 20 hasta los 40 $^{\circ}\text{C}$. Mientras que para los estudios de isoterma de adsorción se observa una tendencia ligeramente lineal, lo cual indica que pueden ocurrir interacciones carbono-carbono entre el contaminante y el adsorbente, durante el proceso de adsorción (Figura 1b) [10], con capacidades máximas experimentales de AFB1 de 38.5 a 30.41 $\mu\text{g/g}$ de 20 a 40 $^{\circ}\text{C}$.

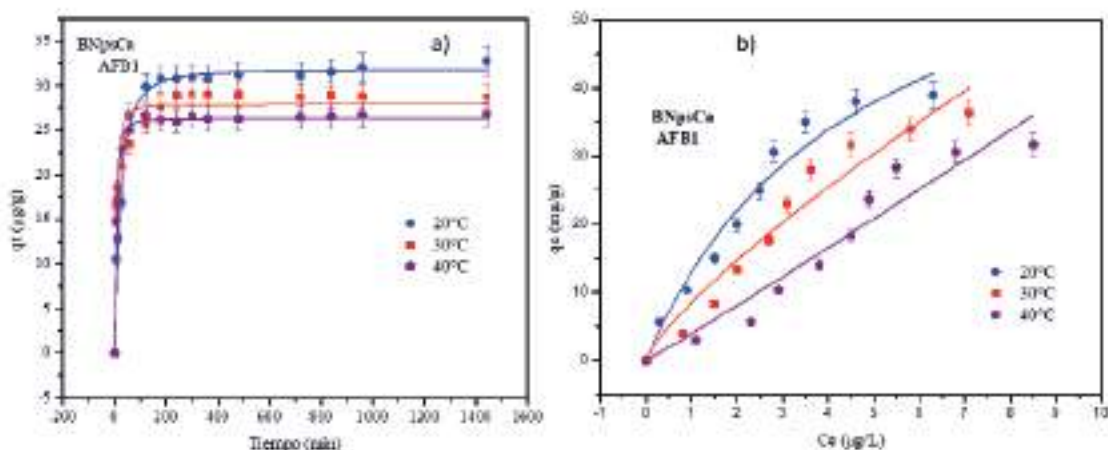


Figura 1. a) Cinéticas e b) isoterma de adsorción de AFB1 en función de la temperatura

4. Conclusiones

De acuerdo con el proceso de adsorción de AFB1, el biocarbón con nanopartículas de calcio remueve eficientemente a una temperatura de 20 $^{\circ}\text{C}$; sin embargo, conforme incrementa la temperatura del sistema (30 y 40 $^{\circ}\text{C}$), el proceso de adsorción de AFB1 disminuye, esto debido a la solubilidad de los contaminantes orgánicos. Por lo cual el uso de biocarbones con nanopartículas de calcio favorece el proceso de adsorción.

5. Referencias

- [1] Chang, H., Kim, W., Park, J.-H., Kim, D., Kim, C.-R., Chung, S., Lee, C.: The Occurrence of Zearalenone in South Korean Feedstuffs between 2009 and 2016. *Toxins*, Vol. 9(7), pp. 223 (2017).
- [2] [Shephard, G., S.: Aflatoxin analysis at the beginning of the twenty-first century. *Anal. Bioanal. Chem.* Vol. 395, pp. 1215-1214 (2009).
- [3] Zinedine, A., Soriano, J. M., Moltó, J. C., Mañes, J.: Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: an oestrogenic mycotoxin, *Food Chem. Toxicol.* Vol. 45, pp. 1-18 (2007).
- [4] Xiong, X., Li, Y., Yuan, W., Lu, Y., Xiong, X., Li, Y., Liu, Y.: Screen printed bipolar electrode for sensitive electrochemiluminescence detection of aflatoxin B1 in agricultural products. *Biosensors and Bioelectronics*, pp. 111873 (2019).
- [5] Carvajal, M., Berumen, J., Guardado, E. M.: The presence of aflatoxin B -FAPY adduct and human 1 papilloma virus in cervical smears from cancer patients in Mexico. *Food Additives & Contaminants: Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*. Vol. 29, pp. 258-268 (2013).
- [6] Moudgil, V., Redhu, D., Dhanda, S., Singh J.: A review of molecular mechanisms in the development of

- hepatocellular carcinoma by aflatoxin and hepatitis B and C viruses. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*. Vol. 32, pp. 165-175 (2013).
- [7] Raza, R.: Occurrence of aflatoxin M1 in the milk marketed in the city of Karachi, Pakistan. *J. Chemical Soc. Pakistan*. Vol. 28, pp. 155–157 (2006).
- [8] H. Møller, E. Heseltine, H. Vainio.: Working group report on schistosomes, liver flukes and *Helicobacter pylori*, *Int. J. Cancer*, Vol. 60 (5), (1995).
- [9] Brusseau, M. L., Chorover, J.: Chemical Processes Affecting Contaminant Transport and Fate. *Environmental and Pollution Science*, pp. 113–130 (2019).
- [10] Marković, M., Daković, A., Rottinghaus, G. E., Petković, A., Kragović, M., Krajišnik, D., & Milić, J.: Ochratoxin A and zearalenone adsorption by the natural zeolite treated with benzalkonium chloride. *Colloid Surf. A-Physicochem. Eng. Asp*, Vol. 529, pp. 7–17 (2017).

Determinación de antraceno generado por colillas de cigarro en los suelos del Instituto Tecnológico de Toluca

Mercado Serrano Karla¹, Hernández Arista Ana Laura¹, Cuéllar Robles Fredy¹, Millán Olvera Beatriz Magdalena¹

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Av. Tecnológico s/n. Colonia Agrícola Bellavista, Metepec, Edo. de México, México, C.P. 52149.
l20280702@toluca.tecnm.mx

Resumen. En el Estado de México los patrones de distribución espacial del consumo de cigarro determinan que la zona metropolitana de Metepec es un municipio con muy alto consumo, tomándolo como criterio para el diagnóstico de enfermedades por exposoma a los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), que son liberados a causa de la combustión incompleta del cigarro; asimismo, libera cientos de compuestos orgánicos tóxicos como el antraceno, que se alberga en un 2% dentro de la colilla de cigarro; al ser un compuesto orgánico volátil (COV) produce que la población en general respire estos gases, ocasionando daños a la salud aun sin ser fumadores. Pese a que se han establecido espacios 100% libres de humo de tabaco, el suelo es un depósito natural de HAPs que se afecta debido a la mala disposición de colillas de cigarro, siendo uno de los principales contaminantes en suelos a nivel mundial. Para el análisis de suelos, la extracción acelerada con disolventes es una técnica rápida y eficaz en matrices ácidas y alcalinas, por ser un método totalmente automatizado y con menor uso de solventes en comparación con otras metodologías [1], logrando así tener un mayor grado de pureza en la obtención de COVs, para el posterior análisis en el cromatógrafo de gases. Debido al historial de tabaquismo en la institución es que mediante este proyecto se evaluarán los niveles de concentración de antraceno en el suelo depositado por colillas de cigarro a lo largo de los años, esperando que no supere el límite máximo permisible de acuerdo con la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 y que no represente una situación de riesgo para la comunidad estudiantil del Instituto Tecnológico de Toluca.

Palabras clave: colillas de cigarro, hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAPs), antraceno, suelos, toxicidad, exposoma.

1. Introducción

“En México, hay alrededor de 15 millones de fumadores [2]”, de los cuales cerca de 600 mil muertes son debido a la exposición al humo de tabaco ajeno, demostrando que ningún otro producto de consumo es tan peligroso y de alto riesgo como lo es el cigarro y sus residuos. Los cigarros pueden parecer indefensos por su tamaño, sin embargo, el cigarrillo representa una gran fuente de contaminación ambiental, desde su proceso de elaboración hasta el fin de su vida útil, debido a las altas cantidades en las que este es desechado: cerca de 10 mil millones de colillas de cigarro son desechadas al ambiente cada día. Las colillas al actuar como filtros concentran las sustancias tóxicas del humo como nicotina, HAPs, alquitrán, arsénico, plomo y otros metales. Se hace evidente que las buenas prácticas para el desecho de las colillas y los espacios o contenedores para la población fumadora reflejan la falta de conocimiento sobre el daño que generan las colillas, ya que es común encontrar colillas de cigarrillo en gran parte de los espacios [3].

Su alta toxicidad ha generado un daño representativo a los suelos, que funcionan como depósito natural de antraceno, que puede ser liberado mediante oxidación, ya que al ser un compuesto orgánico volátil produce que la población en general respire estos gases ocasionándoles daños a la salud, aun sin ser fumadores directos, generando exposoma (exposiciones medioambientales). La presencia de HAPs en el ambiente es una preocupación creciente debido a su carcinogenicidad y mutagenicidad. Aunque las concentraciones permitidas están reguladas, el riesgo para la salud de la exposición sugiere una necesidad continua del control de las relacionadas principalmente con la zona de muestreo.

Este proyecto permitirá evaluar los niveles de concentración de antraceno con base en la NOM-138-SE-MARNAT/SSA1-2012, que establece los límites máximos permisibles de HAPs en el suelo, estableciendo una relación con el tipo de contaminantes, concentración y tiempo de exposición para presentar daños a la salud en la comunidad del Instituto Tecnológico de Toluca.

2. Fundamentos teóricos

“El cigarrillo es, muy probablemente, la fuente más importante de compuestos químicos tóxicos causante de enfermedades humanas ya que contiene cerca de 4000 partículas, tras su combustión se detectan 6000 de las cuales 65 son posibles carcinógenos y 11 son agentes cancerígenos ya comprobados [4]”. Varias partículas que quedan atrapadas en el filtro facilitan un riesgo potencial, pues al entrar en contacto con el suelo, las partículas contenidas de compuestos tóxicos se dispersan en el medio. Parte importante de estas sustancias son los HAPs, los cuales son sustancias químicas que contienen dos o más anillos de benceno unidos entre sí, por lo que forman estructuras polinucleares del tipo aromático. “Existen más de 100 tipos de HAP’s liberados a la atmósfera que pueden formarse ya sea por fuentes naturales (quema de biomasa y erupciones volcánicas) o antrópicas (quema de combustible fósil, desechos sólidos, madera e incineraciones industriales) [4]”.

“Las colillas de cigarrillo son el residuo resultante de fumar, estas son arrojadas en su mayoría a los suelos, aceras y calles contaminando los mismos con los compuestos químicos generados por la combustión del cigarrillo [5]”. Según el Programa Nacional del Control de Tabaco del Ministerio de Salud de Argentina, el 97% de los cigarrillos que se consumen diariamente a nivel mundial tienen filtros, de los cuales más del 80% son de acetato de celulosa. Además, se estima que se desechan más de 4,5 trillones de colillas por año.

Las colillas al actuar como filtros concentran las sustancias tóxicas del humo, como nicotina, hidrocarburos aromáticos policíclicos, alquitrán, arsénico, plomo, otros metales. “Debido a que varias partículas quedan atrapadas en el filtro, facilitan que este tenga riesgo potencial en cualquier medio, pues al entrar en contacto en un disolvente como el agua o el suelo, las partículas contenidas de compuestos tóxicos se dispersan en el

medio, transportándose así en la cadena trófica [5]”. La alta toxicidad de las colillas que son arrojadas cada año al entorno las vuelve una de las principales fuentes de contaminación en suelos, por la emisión de las partículas que atraviesan el filtro después de la combustión y que se depositan en los suelos para después ser emitidos a la atmósfera como gases livianos. A pesar de ser ya el residuo humano más abundante a escala mundial, el gesto de tirar una colilla al suelo es algo habitual en la conciencia social.

“El antraceno es un HAP que está formado por la fusión de tres anillos bencénicos. Es un compuesto incoloro, pero bajo la irradiación de luz ultravioleta adquiere un color azul fluorescente y de fácil sublimación, puede presentarse como cristales incoloros monoclínicos, de un olor aromático suave. El antraceno sólido es prácticamente insoluble en el agua y es parcialmente soluble en los solventes orgánicos, especialmente en el disulfuro de carbono (CS_2) [6]”. El antraceno es fotosensibilizante, produce dermatitis aguda y crónica con síntomas de quemazón, picor y edema; estos síntomas son más pronunciados en las regiones de piel expuesta [7]. Se le ha encontrado en el agua potable, en el aire atmosférico, en los escapes de los vehículos automotores y en el humo de los cigarrillos. Debido a sus propiedades mutagénicas, la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) seleccionó 16 HAP, que se encuentran con frecuencia en muestras de monitoreo ambiental [8], de los cuales el antraceno se encuentra en la lista contaminantes ambientales más importantes.

Para obtener y analizar las muestras de suelo es importante conocer previamente la clasificación de suelos, que se refiere a la agrupación de rango de propiedades similares (químicas, físicas y biológicas) a unidades georreferenciadas y mapeadas, resumidas visualmente a través del triángulo de textura de suelos. Esta información es muy útil para elegir la metodología que utilizar, como en este caso, la extracción acelerada con disolventes, ya que es una técnica establecida para la extracción de muestras sólidas y semisólidas que utilizan disolventes a una elevada temperatura y presión para aumentar la eficiencia del proceso de extracción y reducir el consumo de disolventes. Después se trabajará con la técnica analítica de cromatografía de gases, ya que permite separar y analizar los componentes de una mezcla compleja, basándose en la distribución de los componentes entre una fase estacionaria y una móvil. La fase móvil es un gas que arrastra los componentes de la muestra por una columna que contiene la fase estacionaria.

Los HAPs representan un serio problema que dependerá de la movilidad de los contaminantes y los horizontes de distribución, con base en las características físicas del suelo, así como de la toxicidad y el nivel de exposición a los contaminantes [9]. El contenido de HAPs en el suelo está estrechamente determinado por su concentración en la atmósfera, donde los HAPs pueden estar unidos a partículas o existir en fase gaseosa. Es importante destacar que los estudios relacionados referentes a la presencia de contaminantes orgánicos en suelo están influidos por las condiciones químicas y físicas del medio ambiente [10].

“Los HPA’s representan un serio problema para la biorremediación debido a sus características recalcitrantes, tales como compleja estructura molecular, baja solubilidad e hidrofobicidad. Además, los HPA’s pueden ocasionar daños potenciales a la salud humana [11]”. De las características físicas del suelo dependerán, la movilidad de los contaminantes y los horizontes de distribución, así como de la toxicidad y el nivel de exposición de los contaminantes. A mayor humedad menor tiempo de degradación de antraceno; cuando la humedad es excesiva, “limita el intercambio gaseoso y disminuye el suministro de oxígeno disponible [7]”.

Diversos estudios sobre biorremediación del suelo (concentración de 500 mg/kg) han detectado que “el mezclado y aireado del suelo aceleró la remoción del antraceno que tenía 112 días de haberse contaminado [7]”; en suelos sin plantas, “con el tratamiento de 400 mg/kg, a los 15 días, la remoción fue de 1.0%, mientras que a los 30 días esta fue de 5.1% [11]” con factores como el sol y humedad (riego cada tercer día), demostrando que el agua en el suelo es un factor importante para que el compuesto permanezca más tiempo en el suelo. En un tipo de suelo recreativo (sin movimiento de raíces para agricultura) como el del Instituto Tecnológico de Toluca y un clima predominante en humedad esperamos un mayor tiempo de permanencia de antraceno en suelos.

La contaminación del suelo provoca la pérdida parcial o total de su productividad, una de las secuelas de la acumulación de sustancias tóxicas en concentraciones que rebasan el poder de amortiguación natural del suelo y que alteran negativamente sus propiedades [7]; por esta razón, un monitoreo de suelos constante es de vital importancia para evitar la degradación de este y evitar afecciones a la salud por los contaminantes retenidos.

3. Conclusiones

El incremento en la concentración de HAPs como el antraceno en suelos se debe a la mala disposición de colillas de cigarro, ya que este compuesto orgánico volátil puede ser liberado fácilmente en forma de gases mediante la oxidación, generando exposoma, afectando a la población en general aun sin ser consumidores directos. La revisión bibliográfica proporciona una visión integral de los efectos del antraceno y su presencia en muestras de suelo, demostrando la presencia de estos compuestos (HAPs) en el medio ambiente, provenientes de su volatilización en las colillas desechadas. En conjunto, estos estudios resaltan la complejidad de la interacción entre el antraceno y el suelo, destacando la importancia de considerar factores como composición y movimiento, la hidrofobicidad del compuesto y la disponibilidad de agua al evaluar los efectos de este contaminante en los ecosistemas y en la degradación dentro del mismo.

Pese a que el Instituto Tecnológico de Toluca ya es un espacio 100% libre de humo de tabaco, anteriormente la comunidad presentó hábitos de tabaquismo respaldados por estudios de patrones de comportamiento geográficos de la zona metropolitana de Metepec, dando como consecuencia un alto nivel de contaminación por colillas de cigarro desechadas; esto debe incentivar a la comunidad a promover la búsqueda y divulgación de información para un mejor control de residuos e informarse sobre los efectos y daños a la salud que implica la contaminación de suelos y la liberación de compuestos orgánicos volátiles para la comunidad fumadora y no fumadora. Un ambiente y entorno sano es responsabilidad de todos.

4. Referencias

- [1] M. A. Molina, “Determinación de hidrocarburos policíclicos en suelos y sedimentos mediante extracción acelerada con solvente (ase) y cuantificación por cromatografía de gases con detector selectivo de masas (gc-ms)”, Tesis de grado, Univ. Chile, Chile, 2018
- [2] Instituto Mexiquense Contra las Adicciones, “Día mundial sin Tabaco”, México, Informe del EDOMEX, mayo de 2022. Accedido el 14 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible: https://edomex.gob.mx/mundial_tabaco_2022
- [3] V. Cubides, “Análisis de aprovechamiento y valoración de las colillas de cigarrillo, teniendo en cuenta el componente ambiental, social y económico”, Trabajo de grado, Univ. Antonio Narino, Bogotá, 2021. Accedido el 14 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible: http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/5769/2/2021_JesicaCardenas_VivianaMorato.pdf
- [4] M. Ballén, A. Jagua, D. Álvarez y A. Rincón, “El cigarrillo: Implicaciones a la Salud”, *Repos. UNAL*, vol. 54, n. 3, 2006, art. n. e205. Accedido el 7 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/74812/43870-204884-1B.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] L. F. Cortez Camacho y D. E. Ponce Muñoz, «Impacto generado por colillas de cigarrillo en el medio ambiente a nivel mundial», *Bol. Informativo CEI*, vol. 6, n. ° 3, pp. 131–132, dic. 2019.

- [6] Y. Chirino, R. Fernandez y Z. Benzo, “Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en Partículas Atmosféricas Sedimentadas. Un estudio comparativo en diversas áreas en la ciudad de Caracas-Venezuela”, *Redalyc*, vol. 39, n. 84, 2015, art. n. e180. Accedido el 7 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376140399008>
- [7] L. Delgado, “Estudio comparativo de métodos de remoción en suelos contaminados con antraceno”, tesis para obtener el grado de doctora en ciencias en la especialidad de biotecnología, CENT. INVESTIG. ESTUD. AV. DEL INST. POLITEC. NAC., Ciudad de México, 2014. Accedido el 6 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.cinvestav.mx/bitstream/handle/cinvestav/1340/SSIT0012895.pdf?sequence=1>
- [8] Zelinkova y T. Wenzl, “The occurrence of 16 EPA pahs in food – A review”, *Polycycl. Aromat. Compd.*, vol. 35, n. ° 2-4, pp. 248–284, enero de 2015. Accedido el 8 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1080/10406638.2014.918550>
- [9] B. Pérez, D. Castañeda, G. Castellanos, T. Jiménez, A. Tapia y D. Martínez, “Efecto del antraceno en la estimulación del crecimiento en maíz y frijol”, *Scielo*, vol. 29, n. °1, p. 96, marzo de 2011. Accedido el 12 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: [Efecto del antraceno en la estimulación del crecimiento en maíz y frijol. \(scielo.org.mx\)](http://scielo.org.mx)
- [10] B. Pérez, D. Castañeda, G. Castellanos, T. Jiménez, A. Tapia y D. Martínez, “Efecto del antraceno en la estimulación del crecimiento en maíz y frijol”, *Scielo*, vol. 29, n. °1, p. 98, marzo de 2011. Accedido el 12 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000100095#B3
- [11] B. Pérez, D. Castañeda, G. Castellanos, T. Jiménez, A. Tapia y D. Martínez, “Efecto del antraceno en la estimulación del crecimiento en maíz y frijol”, *SciELO*, vol. 29, n. ° 1, 2011.

Identificación electroquímica de la interacción lectina-carbohidrato en nanotubos de carbono funcionalizados con la lectina de *Solanum tuberosum*

Salinas Cruz, Aarón David¹, Pérez Santiago, Alma Dolores¹, Robledo Taboada, Luis Humberto¹, Sánchez Medina, Marco Antonio¹, García Montalvo, Iván Antonio¹, Hernández Bautista, Emilio¹, Gochi Ponce, Yadira²

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tijuana, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tijuana, Baja California, México.

alma.ps@itoaxaca.edu.mx

Resumen. Las técnicas electroquímicas permiten transducir fenómenos fisicoquímicos producidos por un analito en señales analíticas útiles. La cronopotenciometría permite identificar modificaciones superficiales en nanomateriales como, por ejemplo, los nanotubos de carbono funcionalizados con lectinas. Es importante desarrollar técnicas innovadoras que permitan identificar este tipo de interacciones, dada su importancia actual en aplicaciones biomédicas. El presente trabajo tuvo como objetivo identificar mediante cronopotenciometría la interacción lectina-carbohidrato en nanotubos de carbono de pared múltiple funcionalizados con la lectina de *Solanum tuberosum* con su azúcar específico N-Acetil-D-Glucosamina. Se comprobó la actividad de la lectina de *Solanum tuberosum* mediante pruebas de hemaglutinación empleando eritrocitos humanos tipo O, A y B, corroborando la actividad específica de lectina mediante ensayos de inhibición con azúcares. Posteriormente se realizó la funcionalización de los nanotubos empleando 150 µL de suspensión en PBS pH 7.2 e incubando con 600 µL de solución 1 mg.mL⁻¹ de la lectina; agitando a 4 °C durante 24 h, la mezcla se centrifugó a 10 000 rpm por 1 h y se lavó repetidamente. Se generaron cronopotenciogramas estándar para evaluar los nanomateriales, incluyendo nanotubos de carbono de pared múltiple puros, funcionalizados e incubados con el azúcar específico. Se comprobó que la lectina de *Solanum tuberosum* empleada se encuentra activa y mediante los cronopotenciogramas se pudo detectar la funcionalización de los nanotubos de carbono con la lectina, siendo posible identificar la interacción lectina-carbohidrato con sensibilidad y especificidad. Estos bioconjugados son importantes en la construcción de biosensores para detección de marcadores tumorales y como transportadores de fármacos, entre otras aplicaciones.

Palabras clave: nanotubos de carbono, lectinas, interacción lectina-carbohidrato, electroquímica.

1. Introducción

Los dispositivos electroquímicos son capaces de transducir señales biológicas, permitiendo obtener información analítica útil como la concentración de un analito específico [1]. Los nanotubos de carbono (NTC) son estructuras tubulares que poseen propiedades importantes para diversas aplicaciones biológicas y biomédicas como la terapia fototérmica, imagen fotoacústica y administración de fármacos, por mencionar algunas. Una característica importante de los NTC es la posibilidad de funcionalizarlos con diferentes moléculas biológicas, con el propósito de generar materiales versátiles para el desarrollo de aplicaciones biomédicas, siendo la construcción de biosensores y el transporte de fármacos algunas de las más destacadas [2]. Las propiedades de los NTC funcionalizadas con moléculas que poseen sitios activos de reconocimiento molecular específico como las lectinas, que permiten el montaje de bioconjugados, funcionando como transportadores de carga y electroconductores, los cuales pueden ser caracterizados mediante métodos electroquímicos como la amperometría, potenciometría y voltamperometría cíclica [3].

Los estudios alrededor de las lectinas han tomado relevancia debido a su capacidad para reconocer carbohidratos de manera específica y reversible, aunque se espera que este campo siga creciendo en cuanto a la traducción de los descubrimientos clínicos y el potencial desarrollo de aplicaciones biológicas y biomédicas, permitiendo el desarrollo de alternativas diagnósticas y terapéuticas, siendo las lectinas vegetales candidatos prometedores como elementos de reconocimiento molecular y celular [4-6]. Por lo tanto, es importante continuar desarrollando e innovando técnicas electroquímicas que permitan caracterizar nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) funcionalizados con lectinas, detectando la modificación superficial de los nanomateriales, así como identificar la interacción lectina-carbohidrato del bioconjugado. El presente trabajo tuvo como objetivo identificar mediante cronopotenciometría la interacción lectina-carbohidrato en nanotubos de carbono de pared múltiple funcionalizados con la lectina de *Solanum tuberosum* (STL) con su azúcar específico N-Acetil-D-Glucosamina (GlcNAc).

2. Fundamentos teóricos

Los nanotubos de carbono son alótopos del carbono, como el grafito y el diamante, descubiertos accidentalmente por S. Iijima, quien los confundió en un principio con fulerenos. Su estructura puede derivarse de una lámina de grafeno enrollada sobre sí misma; por ello los diámetros y geometría interna pueden variar [7]. La funcionalización química de nanotubos de carbono es la modificación de propiedades por la adsorción de átomos o moléculas en las paredes exteriores o interiores de estos nanomateriales. Derivado de este proceso, se pueden modificar las propiedades físicas de la superficie, mejorando su solubilidad y dispersión, las cuales son importantes para sus aplicaciones biológicas y biomédicas [8]. Las lectinas son un grupo de proteínas y glicoproteínas de origen no inmune, que poseen por lo menos un dominio no catalítico reversible y específico para azúcares tales como monosacáridos, glicoproteínas, glicolípidos, entre otros [9]. Para diferenciarlas de enzimas específicas a carbohidratos, también se define a las lectinas como proteínas de unión a carbohidratos que no modifican al receptor al establecer la unión [10]. En plantas, estas moléculas se encuentran presentes en su mayoría en los cotiledones y endospermos de las semillas en un 2 a 10% del total de proteína de estas. Se sugiere que estas moléculas tienen diferentes funciones: regulación fisiológica, defensa contra el ataque de microorganismos, proteínas de reconocimiento simbiótico, entre otras [11]. Diversos estudios con numerosas lectinas vegetales han demostrado poseer actividad antitumoral y actividad anticancerígena [4], las cuales se han

empleado en la funcionalización de nanotubos de carbono para la obtención de bioconjugados como elementos de reconocimiento biológico en biosensores [3] y agentes citotóxicos [12]. La cronopotenciometría (CP) es una técnica electroquímica en la que se aplican al electrodo de trabajo diferentes valores constantes de corriente eléctrica, midiendo el potencial resultante entre ambos electrodos (trabajo y auxiliar). Debido a la disminución de la concentración del material electroactivo alrededor del electrodo de trabajo, el potencial cambia con el tiempo. Cuando la concentración es suficientemente pequeña, se observa un salto de potencial hacia el valor de otro sistema redox. Esta técnica es especialmente sensible para caracterizar materiales electroconductores como los nanotubos de carbono [13].

3. Desarrollo del trabajo

Determinación de actividad de lectina

Se realizaron pruebas de hemaglutinación con la lectina purificada de *Solanum tuberosum* (Sigma-Aldrich®), efectuando diluciones dobles seriadas en una placa de microtitulación de fondo cóncavo, empleando *buffer* salino de fosfatos pH 7.2 (PBS), adicionando a cada pozo con micropipeta 25 μ L de una suspensión de eritrocitos (O, A y B) al 3%. La placa se agitó y se dejó reposar. Se tomaron como positivo la aglutinación de eritrocitos y como negativo la sedimentación de estos. Los resultados se cuantificaron en unidades hemaglutinantes (UHA) por mg de proteína [14]. Se completó esta actividad mediante ensayos de inhibición de la hemaglutinación con soluciones 0.4 M de los azúcares: 1) D-Ribosa, 2) D-Xilosa, 3) D-Glucosa y 4) N-Acetil-D-Glucosamina (Sigma-Aldrich®).

Síntesis de bioconjugado NTCPM-Lectina

Se dispersaron 100 μ g de nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) oxidados y puros (Sigma-Aldrich®) empleando PBS pH 7.2. Se tomó una alícuota de 150 μ L y se incubó con 600 μ L de solución 1 mg.mL⁻¹ de lectina de *Solanum tuberosum* (STL) en PBS pH 7.2. En seguida, el bioconjugado se centrifugó, recuperando el sobrenadante para verificar la actividad de la lectina. El pellet de NTCPM funcionalizados se lavó dos veces con PBS pH 7.2, almacenando a 4 °C hasta su utilización. Se realizaron pruebas de hemaglutinación con el bioconjugado para corroborar la funcionalización.

Caracterización de materiales y generación de curvas estándar

La caracterización de materiales se realizó mediante el potencióstato Origaflex OGF01A empleando una celda cónica de vidrio con los siguientes electrodos: Electrodo de trabajo de filamento de platino (Griffin & George Laboratory Equipment), Electrodo de referencia de Filamento de platino (Orignalys Electrochem) y Electrodo auxiliar de filamento de plata (Griffin & George Laboratory Equipment). Se empleó cronopotenciometría con reversión de corriente a dos pasos como técnica de caracterización electroquímica. Para el procesamiento, análisis y visualización de datos se empleó el software Origamaster 5® versión 2.2.0.1. Se prepararon seis muestras con los materiales utilizados en este estudio, tomando 150 μ L de cada muestra (volumen de funcionalización) y se disolvieron en 5 mL de PBS pH 7.2, el cual se utilizó como electrolito de prueba en la medición potenciométrica [15], [16], siendo las principales nanotubos de carbono de pared múltiple puros (NTCPM), NTCPM funcionalizados con STL (NTCPM-f) y NTCPM funcionalizados e incubados con N-Acetil-D-Glucosamina (NTCPM-f+GlcNAc).

Resultados y discusión

La lectina de *Solanum tuberosum* (STL) presentó actividad hemaglutinante para los eritrocitos tipo O, A y B con títulos de 10, 9 y 9 pozos positivos respectivamente. Se observó mayor actividad específica de lectina en las pruebas con eritrocitos tipo O ($20480 \text{ UHA} \cdot \text{mg}^{-1}$), esto debido a la especificidad de la lectina para el azúcar N-Acetil-D-glucosamina [17]. Los NTCPM funcionalizados con STL mantuvieron la actividad de lectina, corroborando la funcionalización y la actividad de la lectina en la superficie del nanotubo. En la Figura 1 se observan los cronopotenciogramas característicos con patrones en la forma de la onda diferenciables entre nanotubos de carbono puros (NTCPM) y nanotubos de carbono funcionalizados (NTCPM-f), siendo la caída de voltaje menor en nanotubos de carbono puros (522.472 mV) en comparación con nanotubos funcionalizados (1928.605 mV), esto debido a la presencia de la lectina en la superficie del nanotubo, la cual incrementa la resistencia del nanomaterial, tanto en la zona de reducción (0-120 s) como en la zona de oxidación (120-240 s) [18,19].

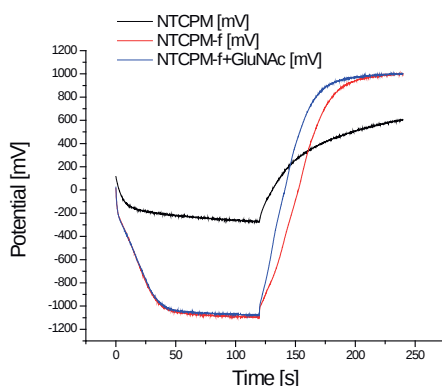


Figura 1. Cronopotenciograma comparativo de nanotubos de carbono de pared múltiple puros (NTCPM), funcionalizados (NTCPM-f) y en presencia de GlcNAc (NTCPM-f+GlcNAc)

En la Figura 1 también se observó una diferencia en la forma de la onda al comparar NTCPM funcionalizados con la lectina de *Solanum tuberosum* (STL) y nanotubos funcionalizados en presencia de N-Acetil-D-Glucosamina, principalmente en la zona de oxidación (120-240 s), esto debido a la interacción lectina-carbohidrato, disminuyendo la resistencia del material, lo cual se pudo observar en el tiempo de inflexión de la curva (intervalo de tiempo entre el inicio de la prueba y el inicio de la basal de oxidación), pasando de 181.016 s a 168.530 s [19,20].

4. Conclusiones

La cronopotenciometría permite identificar la interacción lectina-carbohidrato entre la lectina de *Solanum tuberosum* adherida a la superficie de nanotubos de carbono y el azúcar N-Acetil-D-Glucosamina, de manera cualitativa (forma de la curva) y cuantitativa (parámetros electroquímicos), con sensibilidad y especificidad, abriendo la posibilidad de desarrollar técnicas de caracterización para este tipo de bioconjugados, que, como se ha mencionado, son importantes para diversas aplicaciones biomédicas. Es necesario continuar la experimentación electroquímica probando diferentes variables, como los tipos de electrodos, parámetros iniciales y concentración de analitos.

5. Referencias

- [1] Thevenot, D., Toth, K., Durst, R., Wilson, G.: Electrochemical biosensors: Recommended definitions and classification. In: Biosens Bioelectron, pp. 1216-131 (2001).
- [2] Andrade, G., López, L., Sáenz, A.: Nanotubos de carbono: funcionalización y aplicaciones biológicas. In: Rev Mex Cienc Farm, pp. 9-18 (2012).
- [3] Zhang, X., Teng, Y., Fu, Y., Zhang, S., Wang, T., Wang, C., *et al.*: Lectin-based electrochemical biosensor constructed by functionalized carbon nanotubes for the competitive assay of glycan expression on living cancer cells. In: Chem Sci, pp. 2353-2360 (2011).
- [4] Castillo-Villanueva, A., Abdullaev, F.: Lectinas vegetales y sus efectos en el cáncer. In: Rev Invest Clin, pp. 55-64 (2005).
- [5] Coulibaly, F., Youan, B.: Current status of lectin-based cancer diagnosis and therapy. In: AIMS Molecular Science, pp. 1-27 (2017).
- [6] Khan, F., Khan, M.: Fungal Lectins: Current Molecular and Biochemical Perspectives. In: International Journal of Biological Chemistry, pp. 1-20 (2011).
- [7] Iijima, S.: Helical microtubules of graphitic carbon. In: Nature, pp. 56-58 (1991).
- [8] Enyashin, A., Ivanovskii, A.: Functionalization of carbon nanotubes by covalently bonded graphite nanoplatelets: a theoretical study. In: Mendelev Commun, pp. 199-201 (2007).
- [9] Gupta, G.: Animal lectins: form, function and clinical application. In: Ed. Springer Link (2012).
- [10] Sharon, N., Lis, H.: Lectins. Dordrecht. In: Ed. Springer Netherlands (2007).
- [11] Pusztai, A.: Plant lectins. In: Cambridge: Cambridge University Press (1991).
- [12] Aguilar-Vazquez, J., Pina-Canseco, M., Gochi-Ponce, Y., Pérez-Santiago, A.: Efecto anti-proliferativo en líneas celulares de cáncer de mama y cérvico-uterino causado por nanotubos de carbono múltipared-lectina de *Phaseolus lunatus* var. silvester Baudet. In: Rev Biomed, pp. 87-97 (2021).
- [13] Molina, A., González, J., Morales, I.: Reversal and cyclic chronopotentiometry with exponential current-time functions at spherical Electrodes. Reversibility effects and experimental verification. In: Collect Czech Chem Commun, pp. 1997-2020 (2003).
- [14] Liener IE.: Toxic constituents of plant foodstuffs. In: Proc Nutr Soc. (1980).
- [15] Harris, A., Newbold, C., Carter, P., Cowan, R., Wallace, G.: Using chronopotentiometry to better characterize the charge injection mechanisms of platinum electrodes used in bionic devices. In: Front Neurosci, pp. 380 (2019).
- [16] Das, B., Toledo-Carrillo, E., Li, G., Stähle, J., Thersleff, T., Chen, J., *et al.*: Bifunctional and regenerable molecular electrode for water electrolysis at neutral pH. In: J Mater Chem A, pp. 13331-13340 (2023).
- [17] Arbeláez, C.: Sistema de grupo sanguíneo ABO. In: Med Lab, pp. 329-47 (2009).
- [18] Hassan, S., Galal-Eldin, A., Amr, A., Al-Omar, M., Kamel, A.: Single-Walled carbon nanotubes (SWCNTs) as solid-contact in all-solid-state perchlorate ISEs: applications to fireworks and propellants analysis. In: Sensors, pp. 2697 (2019).
- [19] Izadi, N.: Electrochemical Analysis of Proteins at Charged Interfaces (Tesis doctoral). In: Institute of Biophysics, Czech Academia of Science, v.v.i, (2022).
- [20] Cánovas, R., Parrilla, M., Blondeau, P., Andrade, F.: A novel wireless paper-based potentiometric platform for monitoring glucose in blood. In: Lab Chip, pp. 2500-2507 (2017).

Reducción de colorantes disueltos en agua usando materiales a base de quitosano

García González Alfredo¹, Zavala Arce Rosa Elvira¹, Ávila Pérez Pedro¹

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de México, México.
rzavalaa@toluca.tecnm.mx

Resumen. Diversos estudios de decoloración de agua se han realizado por diferentes metodologías, desde procesos de naturaleza biológica, química y física; la adsorción presenta una alternativa viable para ser aplicada, sin embargo, muchos estudios se han limitado a realizar pruebas con aguas sintéticas, dejando de lado el efecto de los elementos presentes en solución de una muestra real. En este estudio se analizó el efecto de un adsorbente a base de quitosano sobre la eliminación de color presente en un agua real de una industria de colorantes, obteniéndose buenos resultados a nivel laboratorio respecto a la remoción de estos, y reafirmando que los materiales a base de quitosano brindan una alternativa de tratamiento como respuesta a la actualización de la normatividad mexicana que incluye color como parámetro de calidad del agua y sus límites permisibles de descarga.

Palabras clave: quitosano, adsorción, colorantes, normatividad.

I. Introducción

En los últimos años el uso del agua se ha incrementado de manera proporcional al crecimiento poblacional, y de igual manera se ha incrementado la producción de agua residual, esto debido a que gran parte del agua usada en actividades antropogénicas no es tratada de manera adecuada, causando un gran impacto al medio ambiente, sobre todo en la situación de su disponibilidad.[1].

Uno de los contaminantes que mayor impacta el medio ambiente son los colorantes, pues confieren al agua una apariencia que de inmediato se percibe como un agua contaminada; asimismo, los colorantes en el agua absorben energía electromagnética de la luz solar, lo que limita la fotosíntesis, decreciendo la flora y fauna que se desarrolla en los medios acuáticos [2–4].

Dentro de los diversos tratamientos para la reducción de color en agua se distinguen los procesos de oxidación avanzada, procesos biológicos y procesos físicos como la adsorción; estos últimos se consideran

los de menor costo y eficiencia, por lo que son considerados como un proceso adecuado para la remoción de colorantes del agua [5].

Dentro de los materiales adsorbentes más comunes se encuentra a las zeolitas, hidrotalcitas, carbón activado de residuos orgánicos y el quitosano; este último es un biopolímero (Figura 1) que se obtiene de la quitina, la cual es el segundo polisacárido más abundante en la naturaleza, y que se deriva del caparazón de crustáceos como camarones, langostas, entre otros, pero también está presente en algunos hongos [6–10].

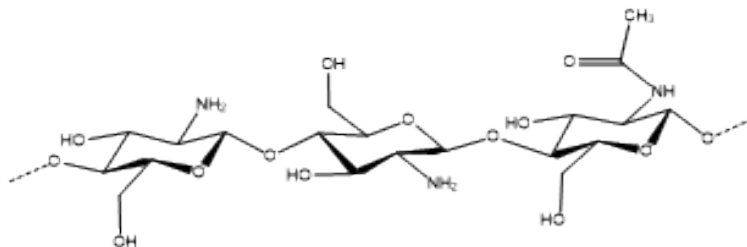


Figura 6. Estructura molecular de algunas unidades poliméricas del quitosano

Este polímero cuenta con propiedades antibacteriales, es usado en la estabilización de metales pesados, y como coagulante de contaminantes, además como adsorbente de elementos en solución, tal como en la remoción de colorantes, como en diversos estudios se ha mostrado [11–15].

En este proyecto se analizó de manera específica el uso del quitosano en la remoción de colorantes ácidos mediante adsorción usando 2 morfologías usadas previamente en estudios a nivel laboratorio, demostrando que los materiales a base de quitosano pueden remover hasta 4500 mg/g en condiciones controladas a nivel laboratorio [15–17]; en este estudio se evaluó la remoción de colorantes, en películas y en perlas, comparando y seleccionando las condiciones óptimas para su aplicación.

Para el monitoreo de los experimentos, se han considerado parámetros que son solicitados dentro de las normatividades mexicanas (NOM-001-SEMARNAT-2021) con respecto a parámetros que se ha demostrado tienen mayor impacto en la cuantificación de la contaminación del agua, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y coeficiente de absorción espectral, mientras que la DQO se evalúa por una prueba colorimétrica, requiere de compuestos contaminantes, mientras que el color es un análisis sencillo a través de espectrofotometría UV-Vis a partir de la expresión:

$$\alpha(\lambda) = \frac{A}{d} * f$$

Donde λ es la longitud de onda seleccionada; A es la absorbancia medida en λ , d es el tamaño de paso de la celda de medición (mm) y f es un factor de conversión mm-1 a m-1 (1000).

2. Fundamentos teóricos

La adsorción es un fenómeno de superficie que como operación unitaria se fundamenta en la concentración de un soluto en solución sobre la superficie de un adsorbente, en donde al soluto al ser retenido en su superficie

se le llama adsorbato; de ella se distinguen cuatro tipos principalmente: fisisorción, quimisorción, intercambio iónico e interacción de grupos funcionales.

El color en el agua es un parámetro óptico implicado por la interacción de la luz con el medio acuático, absorbiendo energía electromagnética a consecuencia de elementos en solución dentro de esta que contienen grupos cromóforos que retienen la energía, generando el tono visual que se aprecia en el agua; en la actualidad este es un parámetro de calidad del agua para la descarga a bienes nacionales, establecidos sus límites máximos permisibles dentro de la NOM-001-SEMARNAT-2022.

3. Desarrollo del trabajo

Para el desarrollo de la investigación se sintetizaron películas e hidrogeles a base de quitosano, en los cuales se varió la dosis de entrecruzante en las películas; por otro lado, a partir de la publicación de la norma (NOM-001-SEMARNAT-2022) se realizó la difusión de esta información [18] para incentivar a las industrias a mejorar sus sistemas de tratamiento de aguas para entre otros parámetros reducir el color. Con base en lo anterior, parte de este trabajo consistió en el establecimiento del algoritmo para la determinación de color real obteniendo el coeficiente de absorción espectral establecido para las longitudes de onda de 436, 525 y 620 nm, y se desarrollaron métodos de cuantificación del color en aguas residuales complementarios a la NMX-017-SCFI-2022 [19] a partir de métodos sencillos de implementar y que brinden mayor información del parámetro de color medido a través de sistemas multilongitudes de onda, tal como el diagrama de cromaticidad que describe el tono de color observado.

También se analizaron los parámetros óptimos de trabajo de los materiales sintetizados de manera preliminar con agua sintética con condiciones controladas a nivel laboratorio, encontrando que la película tiene una cinética de adsorción más rápida (de 12 a 16 horas) en comparación con las perlas de hidrogel (24 a 32 horas); ambos materiales muestran una gran dependencia a pH ácidos para la mejor adsorción, lo anterior con base en la ionización del grupo amino unido al anillo glucosídico del quitosano.

De una muestra de agua residual industrial se evaluó el sistema de cuantificación de color, estableciendo el tono del agua en un sistema grafico en el diagrama de cromaticidad (Figura 2); se estableció que el tono dominante es mayormente un rojo [20].

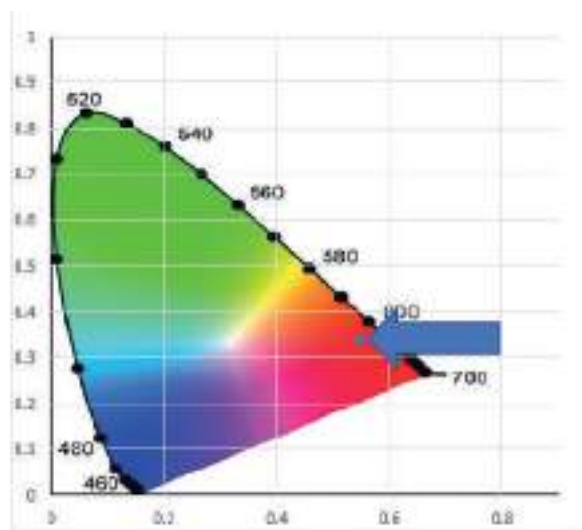


Figura 7. Diagrama de cromaticidad para la identificación de color real en el agua

Se demostró que el agua residual de la industria cumple satisfactoriamente con el límite permisible de descarga del parámetro de color verdadero; aunque esto es un resultado favorable, se logró acceder a una muestra concentrada para simular un proceso que sobrepasara los límites permisibles de descarga y aplicar el sistema de remoción; en este se demostró que el material sintetizado como película requeriría hasta 0.80 gramos por litro de material para lograr una remoción de hasta 328 m^{-1} unidades de absorción espectral (el 98%), cumpliendo con el límite permisible de descarga de agua residual a cuerpos de agua.

Al analizar la carga orgánica del agua en comparación con la concentración de color, se demostró que la cantidad de color tiene una relación directa con la presencia de DQO, por lo que el tratamiento con adsorbentes a base de quitosano tiene la posibilidad de remover una cantidad proporcional de carga orgánica, esto considerando que los colorantes son sustancias susceptibles de degradación química.

Por otro lado, para muestras de agua residual de un cuerpo de agua real en el caudal del río Lerma, en esta se probó la capacidad de remoción del color a través de la aplicación de adsorbentes a base de películas de quitosano, mostrando que las películas tienen la capacidad de remover colorantes, tanto en pH ácidos (resultados esperado de acuerdo con las pruebas a nivel laboratorio); por otro lado, se removió también en rangos de pH alcalinos, lo que permite considerar que en un agua de alto grado de complejidad hay otros mecanismos que se involucran para poder aplicar los materiales y poder remover de manera controlada.

Aunque la remoción se logró de manera satisfactoria para reducir de 54.6 m^{-1} , para alcanzar los límites de concentración aceptables se requieren 2.5 gramos de películas por litro de agua residual, lo cual implica que a pesar de que la mezcla de contaminantes es compleja en el río Lerma, este proceso demuestra que el parámetro de color puede ser removido mediante materiales a base de quitosano; sin embargo, se requieren estudios más detallados al respecto para optimizar el proceso de decoloración.

4. Conclusiones

A partir de este estudio y proyecciones realizadas con las pruebas de materiales a base de quitosano, se demostró que aunque los elementos en solución de una muestra real afectan la capacidad de adsorción de colorantes, esto al comparar los resultados de pruebas a nivel laboratorio, sin embargo, las capacidades de remoción de color son buenas, por lo que la adsorción es una alternativa económicamente viable en agua residual, usando materiales naturales y biodegradables.

5. Referencias

- [1] CONAGUA, Estadísticas del Agua en México 2021, Com. Nac. Del Agua. (2021) 66–85. http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2021.pdf.
- [2] A. Bafana, S.S. Devi, T. Chakrabarti, Azo dyes: Past, present and the future, *Environ. Rev.* 19 (2011) 350–370. <https://doi.org/10.1139/a11-018>.
- [3] G.M. Ziarani, R. Moradi, N. Lashgari, H.G. Kruger, Chapter 4–Azo Dyes, in: G.M. Ziarani, R. Moradi, N. Lashgari, H.G. Kruger (Eds.), *Met. Synth. Org. Dye.*, Elsevier, 2018: pp. 47–93. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815647-6.00004-2>.
- [4] M. Islam, M. Mostafa, Textile Dyeing Effluents and Environment Concerns–A Review, *J. Environ. Sci. Nat. Resour.* (2019). <https://doi.org/10.3329/jesnr.v11i1-2.43380>.
- [5] E. Gallardo, S. Maioco, N. Francois, Remoción de un colorante básico por adsorción con Quitosano y con un material compuesto de Quitosano-Zeolita, *Actas Del 2º Encuentro Investig. En Form. En Recur. Hídricos.* (2014) 14. <http://www.ina.gov.ar/ifrh-2014/Eje2/2.10.pdf>.

- [6] M.A. Barbosa, I.C. Gonçalves, P.M.D. Moreno, R.M. Gonçalves, S.G. Santos, A.P. Pêgo, I.F. Amaral, 2.13 Chitosan □, *Compr. Biomater. II*. 2 (2017) 279–305. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.10246-2>.
- [7] P.S. Bakshi, D. Selvakumar, K. Kadirvelu, N.S. Kumar, Chitosan as an environment friendly biomaterial – a review on recent modifications and applications, *Int. J. Biol. Macromol.* 150 (2020) 1072–1083. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.113>.
- [8] Q. Jaime, A.F. Vásquez, B.M. Ly, P.D. Nelson, T. Huanambal, M.S. Holger, M. García, Biorremediación De Metales Tóxicos En Efluentes Mineros Aplicando Biosorción, *Rev. Del Inst. Investig. La Fac. Ing. Geológica, Minera, Metal. y Geográfica*. 4 (2001).
- [9] Z. Yaneva, D. Ivanova, N. Nikolova, M. Tzanova, The 21st century revival of chitosan in service to bio-organic chemistry, *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* 34 (2020) 221–237. <https://doi.org/10.1080/13102818.2020.1731333>.
- [10] I. Aranaz, A.R. Alcántara, M.C. Civera, C. Arias, B. Elorza, A. Heras Caballero, N. Acosta, Chitosan: An Overview of Its Properties and Applications, *Polymers (Basel)*. 13 (2021). <https://doi.org/10.3390/polym13193256>.
- [11] P.S. Pauletto, J.O. Gonçalves, L.A.A. Pinto, G.L. Dotto, N.P.G. Salau, Single and competitive dye adsorption onto chitosan-based hybrid hydrogels using artificial neural network modeling, *J. Colloid Interface Sci.* 560 (2020) 722–729. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.10.106>.
- [12] G.L. Dotto, R. Ocampo-Pérez, J.M. Moura, T.R.S. Cadaval, L.A.A. Pinto, Adsorption rate of Reactive Black 5 on chitosan based materials: geometry and swelling effects, *Adsorption*. 22 (2016) 973–983. <https://doi.org/10.1007/s10450-016-9804-y>.
- [13] M.O. Abd El-Magied, A.A. Galhoum, A.A. Atia, A.A. Tolba, M.S. Maize, T. Vincent, E. Guibal, Cellulose and chitosan derivatives for enhanced sorption of erbium(III), *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* (2017). <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.05.031>.
- [14] A. Alvarado-Bonifacio, B. García-Gaitán, C. Hernandez Tenorio, G.-R. J. L., M. Recillas-Mota, R. Zavala-Arce, M. Jimenez, T. Soriano-Aguilar, Modification of beads of chitosan and poly(vinyl alcohol) by means of glow discharge plasma for the adsorption of red 2 dye, *MRS Adv.* 3 (2019) 1–6. <https://doi.org/10.1557/adv.2019.97>.
- [15] J.N. Balderas Gutiérrez, Tesis para obtener el grado de doctor: Síntesis de películas de quitosano y quitosano-PPy expuestas a plasma y su evaluación en la eliminación de colorantes rojo 2 y amarillo 5 en soluciones acuosas, Tecnológico Nacional de México, Campus Toluca, 2020.
- [16] G.L. Dotto, C. Buriol, L.A.A. Pinto, Diffusional mass transfer model for the adsorption of food dyes on chitosan films, *Chem. Eng. Res. Des.* 92 (2014) 2324–2332. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2014.03.013>.
- [17] A. García-González, R.E. Zavala-Arce, P. Avila-Pérez, N.A. Rangel-Vazquez, J.J. Salazar-Rábago, J.L. García-Rivas, B. García-Gaitán, Experimental and theoretical study of dyes adsorption process on chitosan-based cryogel, *Int. J. Biol. Macromol.* 169 (2021) 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.100>.
- [18] SEMARNAT, NOM-001-SEMARNAT-2021, D. Of. La Fed. (2022).
- [19] S. de E.-S. de I.C. y C. SCFI, NMX-AA-017-SCFI-2021, (2021).
- [20] A. García-González, R.E. Zavala-Arce, P. Avila-Pérez, M.L. Jiménez-Núñez, B. García-Gaitán, J.L. García-Rivas, Development of standardized method for the quantification of azo dyes by UV-Vis in binary mixtures, *Anal. Biochem.* 608 (2020) 113897. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2020.113897>.

Película de polipirrol obtenida electroquímicamente dopada con yodo mediante una descarga de plasma y su caracterización

Hernández Tenorio Celsor, Moreno Saavedra Hilda¹, Cortés Escobedo Claudia-Alicia² y Villanueva Castañeda Miguel¹

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de México, México.

² Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación e Innovación Tecnológica, Cerrada de Cecati s/n. C. P. 02250, Santa Catarina, Azcapotzalco, CDMX, México.
chernandezt@toluca.tecnm.mx

Resumen. Existe la necesidad de explorar enfoques novedosos para mejorar la capacidad de películas poliméricas de polipirrol para conducir corriente eléctrica; esto puede lograrse mediante la implementación práctica de la tecnología del plasma. La síntesis electroquímica de estas películas ha demostrado ser un método sencillo para controlar el espesor y la conductividad eléctrica. En este trabajo se llevó a cabo el análisis de la influencia del plasma de descarga luminiscente (GDP) en la morfología y la conductividad eléctrica de una película de polipirrol (PPy) sintetizada electroquímicamente y dopada con yodo (I₂). Las películas PPy puras y dopadas con I₂ se analizaron morfológicamente utilizando un microscopio electrónico de barrido; la determinación de su conductividad se determinó mediante placas paralelas. Los resultados muestran que el tratamiento con GDP cambió la morfología de las partículas de polipirrol y originó un aumento en la conductividad de la película. La variación de los parámetros, incluidos el tiempo y la corriente de descarga, desempeñaron un papel importante en la modificación del polipirrol. Se observa que la conductividad del polipirrol modificado con GDP aumentó en 10 veces más que la no expuesta al plasma. Estos resultados muestran que GDP es una tecnología atractiva para mejorar la conductividad eléctrica de materiales poliméricos. Los polímeros dopados muestran conductividades en la zona de semiconductores. La relación molar utilizada fue de 0.5:0.5 de sulfato de sodio y pirrol dopado con yodo, obteniéndose una conductividad del orden de $5.9 \times 10^{-4} \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$, que es similar a los valores obtenidos para otras películas de polipirrol sustituidas con grupos sulfónicos.

Palabras clave: Polipirrol, plasma, conductividad.

1. Introducción

Hoy en día, el interés por los polímeros conductores radica en establecer un mejor control de las propiedades eléctricas y mecánicas que permita el diseño de dispositivos electrónicos en los que se puedan mantener las señales eléctricas en un margen de temperaturas aceptables. La estructura de los polímeros como el pirrol permiten la formación de enlaces tipo π , originando una mayor movilidad de cargas eléctricas dentro de las cadenas del polímero. Los materiales dopantes introducen energía en el intervalo de banda prohibida y esto se aprecia en la generación de electrones o huecos como portadores de energía libre, lo que hace posible mejorar las características conductoras de las cadenas del polímero. Los polímeros orgánicos conductores ofrecen ven-

tajas para la investigación, principalmente debido a sus propiedades eléctricas y ópticas, y al amplio potencial de aplicaciones [1]. Díaz y colaboradores indican que la síntesis electroquímica involucra diferentes variables experimentales químicas como son naturaleza del solvente, el monómero y la sal dopante, mientras que las propiedades físicas incluyen temperatura, condiciones eléctricas, naturaleza y forma de los electrodos, geometría de la celda [2]. Por otra parte, en el trabajo realizado por Roca García y colaboradores se estudia el efecto del cambio de uno o varios parámetros en la velocidad de oxidación del pirrol, determinando que el disolvente, pese a no ser un reactivo, interfiere en la reacción electroquímica controlando la velocidad de oxidación [3]. Otero sugiere que la adición de agua desionizada en el electrolito mejora la polimerización durante la electrogeneración del polipirrol [4]. En el trabajo de Monterroza y González, los mejores resultados se obtuvieron mediante una solución 0.1 M del monómero de pirrol disuelto en una solución; de esta manera se evita que el pirrol se deposite de forma irregular en el electrodo y se generen partes más frágiles [5].

El objetivo de este trabajo es estudiar el comportamiento de la conductividad de la película de polipirrol al ser dopada por medio del bombardeo de iones de yodo, producido bajo una descarga de plasma luminiscente en solución acuosa, así como analizar su morfología. Se utilizó un reactor de generación de plasma con un voltaje de salida de 1 KV.

La descarga se realizó en un medio inerte al llevar a cabo el burbujeo de argón dentro de la solución de yodo diluido en agua desionizada; el plasma se generó en un medio gaseoso desde el ánodo al cátodo electrolítico que se encontraba a 5 mm de la superficie del líquido; los iones energéticos se produjeron en la solución acuosa al disociar las moléculas presentes en la superficie, liberando radicales activos debido a la colisión de electrones de alta energía con las moléculas de la superficie; finalmente, estos radicales con altas velocidades se impactan contra la película de polipirrol dopándolo; estos iones son acelerados por el campo formado entre los electrodos.

2. Fundamentos teóricos

Un polímero es una molécula de alta masa molecular relativa, cuya estructura comprende esencialmente la repetición múltiple de unidades derivadas, a partir de moléculas de baja masa molecular [6]. Los polímeros pueden clasificarse como naturales y sintéticos; los naturales, como la celulosa, el ADN o las proteínas, presentan estructuras mucho más complejas, y los sintéticos se componen de entre uno y tres tipos de unidades que se repiten. Las moléculas que se combinan para formar polímeros se denominan monómeros y a las reacciones a través de las cuales se obtienen se denominan reacciones de polimerización. Cuando se parte de un solo tipo de molécula se nombran homopolímero; si en la estructura están presentes dos o más tipos de monómeros diferentes se denominan copolímeros. Actualmente, la síntesis de polímeros ha tenido grandes logros en la preparación y el diseño controlado de la estructura para obtener propiedades específicas de estos materiales. Estas propiedades dependen de muchos factores, como el crecimiento de la cadena, distribución del peso molecular, secuencia de las unidades del copolímero, control de la microestructura y los grupos terminales. Uno de los métodos más empleados para la síntesis de polímeros es la electrodeposición, ya que permite un control del crecimiento mediante un potencial aplicado de una forma sencilla [7]. El proceso de electrodeposición consiste en el depósito de un material sobre un metal dentro de una célula electrolítica formada por un electrodo positivo (ánodo), un electrodo negativo (cátodo), y una solución electrolítica; la densidad, distribución, pH, temperatura, agitación y composición de la solución influyen notablemente en el proceso. Esta técnica es bastante empleada debido a que permite generar películas delgadas con un amplio intervalo de espesores; el espesor influye en la conductividad de la película; es recomendable obtener películas con grosores menores a 10 μm para evitar de esta forma que las malformaciones pudiesen interferir con la conductividad y estructura del material [7,8].

Conducción de cargas en polímeros conductores

La corriente eléctrica en materiales sólidos se debe en principio a la presencia de electrones libres de los átomos que forman su estructura, sin embargo, no todos los electrones de un átomo se encuentran libres. La energía que puede tener un electrón toma diferentes valores, conocidos como niveles de energía o bandas, las

cuales se separan debido a que existen valores de energía que el electrón no puede poseer (intervalos prohibidos de energía). La banda de valencia está compuesta de electrones en su estado fundamental; la banda de conducción representa los niveles energéticos que puede tener un electrón, y la banda prohibida representa la energía requerida para que los electrones de la banda de valencia de mayor energía pasen a una banda de conducción de menor energía (Figura 1).



Figura 1. Diagrama de bandas, a) Metales, b) Semiconductores y c) Aislante

En los metales la banda prohibida es tan pequeña que no ofrece un gran obstáculo a los electrones, por lo que ellos pueden moverse libremente de la banda de valencia a la banda de conducción; en los materiales aislantes y semiconductores esta banda es mucho más grande y a los electrones se les dificulta el movimiento de una banda a otra.

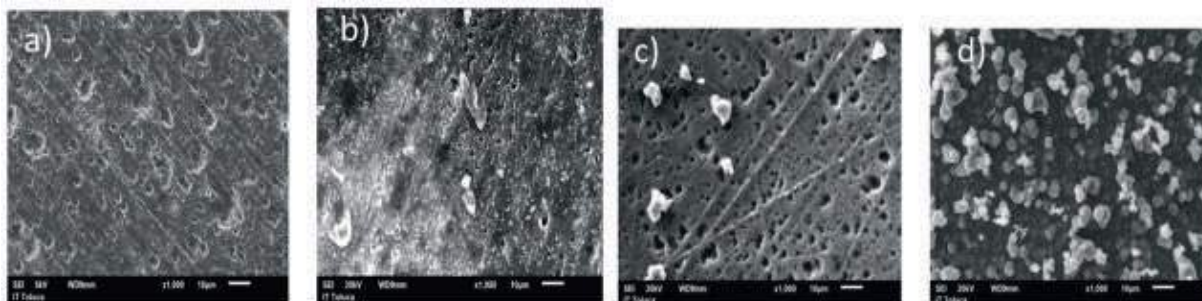
Plasma

El término plasma se emplea para describir un gas total o parcialmente ionizado, compuesto por iones, electrones y especies neutras. La técnica de descarga luminiscente con cátodo electrolítico a presión atmosférica se creó para la medición de la concentración de metales suspendidos en muestras acuosas; la fuerte intensidad del campo eléctrico es responsable de la generación de una descarga de arco eléctrico, iniciando procesos tanto químicos como físicos en la superficie. La descarga electrolítica de plasma luminiscente sobre cátodos se ha usado como removedor de contaminantes en muestras líquidas y como generador de radicales.

La descarga de alto voltaje altera las moléculas de agua presentes en la superficie, liberando radicales activos debido a la colisión de electrones de alta energía con las moléculas de la superficie, y finalmente estos radicales se combinan con los compuestos de pirrol de diferentes maneras [9].

3. Desarrollo del trabajo

Los experimentos se realizaron usando pirrol (Py, Sigma Aldrich), sulfato de sodio (de Sigma-Aldrich Corporation con 98% de pureza) y agua desionizada. El reactor utilizado para la deposición y el dopaje es de forma cilíndrica, consta de dos electrodos de acero inoxidable de 6 cm de diámetro para la deposición electroquímica, y para el GDP se utilizó un electrodo del mismo tamaño de acero inoxidable. Las películas de polipirrol (PPy) se sintetizaron utilizando una solución de Na_2SO_4 de 0.1 M y pirrol 0.1 M en 100 ml de agua desionizada. Las películas se depositaron utilizando un voltaje de onda cuadrada -1.06 a 1.16 V. El dopaje de la película de polipirrol se realizó con una solución 0.1 M de I_2 en 100 ml de agua desionizada. Las películas se introdujeron en solución líquida dentro de la cámara del reactor a una profundidad de 3 cm de la superficie; la separación del ánodo a la superficie del líquido fue de 5 mm. Se aplicó un voltaje de 1.6 kV y una frecuencia de 398.94 kHz entre los electrodos, iniciando el proceso de dopaje de la película de polipirrol con tiempos de exposición de 10, 30 y 50 minutos. La morfología de la película se analizó con un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM 6610 LV con un baño de oro de 45 s. La conductividad eléctrica se calculó mediante un dispositivo de placas paralelas; para medir la resistencia volumétrica intrínseca de las películas de polipirrol se utilizó un multímetro estándar MUL-287.



La conductividad eléctrica de las películas de polipirrol se midió a una temperatura de 21 °C. La conductividad de las películas sin dopaje fue 20.53×10^{-6} S/cm; conforme aumentó el tiempo de dopaje aumento la conductividad eléctrica de 6.63×10^{-5} a 5.90×10^{-4} S/cm.

En este trabajo se llevó a cabo el estudio de la influencia del plasma sobre el dopaje de las películas de polipirrol sintetizado electroquímicamente. La morfología de la película varía con el tiempo de exposición a la descarga luminiscente, determinando que conforme aumenta el tiempo de exposición el grosor de la película aumentó, además de incrementarse el número de discontinuidades superficiales, hasta un tiempo de 30 min, mientras que con 50 min de exposición la morfología presenta la formación de esferas superficiales. La conductividad también crece a medida que aumentó el tiempo de exposición, llegando a obtener una conductividad de 5.90×10^{-4} S/cm con 50 min de exposición.

- [1] Castro Beltrán Andrés, Alvarado Beltrán Clemente G., Lara Sánchez Jesús F., De la Cruz Wencil, Castillo Barraza Felipe F., and Cruz Silva Rodolfo.: Electrochemical Deposition of Polypyrrole in the Presence of Silanes as Adhesion Promoters. *Polymers*, pp.1-10 (2023).
- [2] M. Díaz, A. Rojas, E. Vera, and M. Cortés, “Síntesis electroquímica y caracterización eléctrica de polímeros conductores a partir de pirrol”. *Revista Colombiana de Física*, vol. 37, no. 2, pp. 357–360, 2005.
- [3] M. I. Roca García, J. Arias Pardilla, J. G. Martínez Gil, T. Fernández Otero, M. Alfaro Conesa, and M. A.
- [4] Pérez Muñoz, “Influencia de distintos parámetros en la reacción de oxidación del polipirrol”. 2010.
- [5] T. F. Otero, “Polímeros conductores: síntesis, propiedades y aplicaciones electroquímicas”. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 4, 2003.
- [6] Monterroza and J. González, “Estudio cinético de la oxidación de hidrógeno en electrodos de polipirrol platino”. *Grupo de Electroquímica*, pp. 1–7, 2006.
- [7] Elschner, S. Kirchmeyer, W. Lovenich, U. Merker, and K. Reuter, “PEDOT: Principles and Applications of an Intrinsically Conductive Polymer”. CRC Press, 2010.
- [8] J. M. Albella, O. Sánchez, and I. Jiménez, “Láminas delgadas y recubrimientos preparación, propiedades y aplicaciones”. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 2003.
- [9] X. S. Wang, H. P. Tang, X. D. Li, and X. Hua, “Investigations on the mechanical properties of conducting polymer coating-substrate structures and their influencing factors”. *Molecular Sciences*, vol. 10, pp. 5257–5284, 2009.

Película de polipirrol obtenida electroquímicamente dopada con yodo mediante una descarga de plasma

- [10] Wahyudiono, H. Watanabe, S. Machmudah, T. Kiyan, M. Sasaki, H. Akiyama, and M. Goto, "Pyrrole conversion induced pulse discharge plasma over a water surface under high-pressure argon". Elsevier, vol. 61, pp. 51–57, 2012.
- [11] M. Olayo, G. J. Cruz, S. López, J. Morales, R. Olayo, et al., "Conductivity and activation energy in polymers synthesized by plasmas of thiophene". Journal of the Mexican Chemical Society, vol. 54, no. 1, pp. 18–23, 2010.
- [12] M. Vasquez-Ortega, M. Ortega, J. Morales, M. G. Olayo, G. J. Cruz, and R. Olayo, "Core–shell polypyrrole nanoparticles obtained by atmospheric pressure plasma polymerization". Polymer International, vol. 63, no. 12, pp. 2023–2029, 2014.

La adsorción como una opción a la contaminación de colorantes en el agua

Romero Casarrubias Alfonso ¹, Zavala Arce Rosa Elvira¹, Jiménez Núñez María de la Luz¹

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de México, México.
rzavalaa@toluca.tecnm.mx

Resumen. El agua contaminada debido a un tratamiento inadecuado es una grave amenaza global para la salud y el desarrollo humano. Existe la necesidad de desarrollar mejores tecnologías de tratamiento de agua. Los tintes sintéticos, utilizados en diversas industrias, contribuyen a la contaminación del agua al ser vertidos en cuerpos de agua, porque causan efectos perjudiciales en el medio ambiente. La adsorción es un método eficiente para eliminar compuestos orgánicos en agua. Los hidróxidos dobles laminares (HDL) son compuestos sintéticos similares a la hidrotalcita, con alta capacidad de adsorción y diversas aplicaciones. La adsorción puede ser física o química. Las HDL de Mg/Al son materiales híbridos con estructuras cristalinas únicas que tienen alta capacidad de intercambio iónico y afinidad por compuestos contaminantes. La adsorción de colorantes textiles utilizando HDL de Mg/Al es eficaz. Las hidrotalcitas retienen los colorantes en su estructura debido a enlaces débiles con los grupos funcionales de los compuestos. Las ventajas incluyen alta capacidad de adsorción, selectividad, regeneración y baja toxicidad. Además de la adsorción, las HDL presentan un “efecto memoria”, pues recuperan su estructura laminar al interactuar con agua. Esto permite la intercalación de diferentes aniones en su estructura, lo que ha sido aprovechado para la eliminación de contaminantes, incluyendo metales pesados y compuestos inorgánicos. Las HDL de Mg/Al también se utilizan en la adsorción de contaminantes farmacéuticos, productos químicos industriales y metales pesados. Su versatilidad y eficiencia las hacen valiosas para múltiples aplicaciones en el tratamiento de aguas residuales y purificación de agua.

Palabras clave: Hidrotalcita, colorantes, adsorción.

1. Introducción

La preocupación futura del agua

A nivel mundial, el agua que se contamina por un tratamiento insuficiente o inadecuado es una de las amenazas más graves para la salud y el desarrollo humano, por lo que existe la necesidad de desarrollar mejores y más

eficientes tecnologías de tratamiento de agua (Bucio, 2020). Los colorantes o tintes se denominan productos químicos y consisten en compuestos orgánicos ionizados y aromáticos que tienen afinidad por el sustrato sobre el que se aplican. Los tintes sintéticos se han utilizado cada vez más debido a su facilidad de aplicación y altos beneficios integrales, y se han aplicado a todas las áreas de la vida, y son estables a la luz, la temperatura, los detergentes y los microorganismos. (Palapa, 2020). Las aguas residuales de las industrias de tintes, alimentos, textiles y farmacéuticas son vertidas indiscriminadamente a los cuerpos de agua, con muchos efectos nocivos para el medio ambiente, la flora y la fauna acuática. Los efectos más importantes de esta causa incluyen la reducción del oxígeno disuelto, la eutrofización, la formación de células de compuestos tóxicos y recalcitrantes, la obstrucción del paso de la luz a través de los cuerpos de agua y el deterioro de su estética (Ruiz, 2009). La adsorción es uno de los sustitutos para la remoción de compuestos orgánicos en agua, precisamente por su alta eficiencia y capacidad para separar completamente diversos compuestos (García, 2018).

2. Fundamentos teóricos

La adsorción y un material que puede ayudar

El proceso de adsorción se puede dividir en dos tipos: adsorción física y adsorción química. La adsorción es física cuando las interacciones moleculares entre el adsorbente y el adsorbato son de corto alcance. La adsorción física puede ser de dos tipos: adsorción monocapa y adsorción multicapa. La quimisorción, por otro lado, es el resultado de la interacción química de las moléculas de adsorbato con la superficie del adsorbente, lo que hace que esta adsorción sea irreversible.

Dentro de las características fundamentales que distinguen a un buen adsorbente están su alta porosidad, su gran superficie de contacto y que presente sitios específicos de adsorción. Un buen adsorbente será aquel que presente un **área superficial suficientemente grande y que requiera menor tiempo para alcanzar el equilibrio de adsorción, por lo que generalmente se prefieren para la eliminación de contaminantes adsorbentes con gran área superficial y alta velocidad de adsorción (Valladares, 2016)**; algunos de los adsorbentes son zeolitas, GNFU (gomos), carbón activado e hidróxidos doble laminares.

Los hidróxidos dobles laminares (HDL) son compuestos sintéticos con estructuras análogas a la hidrotalcita, por lo que en la literatura científica se les conoce también como compuestos tipo hidrotalcita, arcillas aniónicas o arcillas sintéticas. La estructura de las hidrotalcitas está basada en unidades de octaedros; estas unidades octaédricas contienen tanto cationes metálicos divalentes como trivalentes; los HDLs son una de las familias de arcillas más llamativas, gracias a su alta capacidad de adsorción, funcionalización, gran estabilidad química y térmica, de síntesis sencilla y económica, excelente biocompatibilidad, y por ello, con una gran gama de aplicaciones posibles. En la Figura 1 se ejemplifica la forma de un HDL.

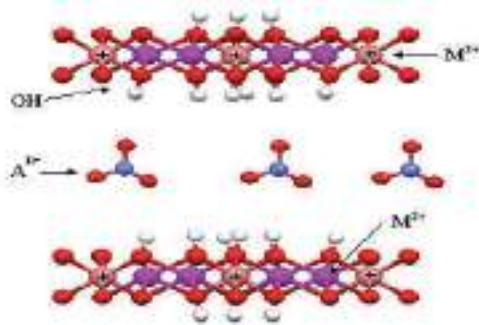


Figura 1. Representación estructural de un hidróxido doble laminar (Martínez, 2012)

Las hidrotalcitas de Mg/Al son una clase de materiales híbridos con propiedades sorprendentes. Se componen de láminas octaédricas de hidróxidos de magnesio (Mg) y aluminio (Al) apiladas de manera regular, con iones intercalados en los espacios interlaminares. Esta estructura cristalina única proporciona una gran superficie específica y una alta capacidad de intercambio iónico, lo que las hace ideales para la adsorción de compuestos contaminantes.

Existen dos mecanismos por los cuales los hidróxidos de doble capa logran la adsorción: uno de ellos es a través de fuerzas electrostáticas, es decir, atraen el material problemático con cargas electrostáticas, y dado que la superficie de HDL suele estar cargada positivamente, tiende a atraer materiales cargados negativamente. Otros mecanismos son a través del intercambio de iones, donde los iones presentes entre las láminas de HDL serán reemplazados por los iones problemáticos, que se pueden ver en la Figura 2.

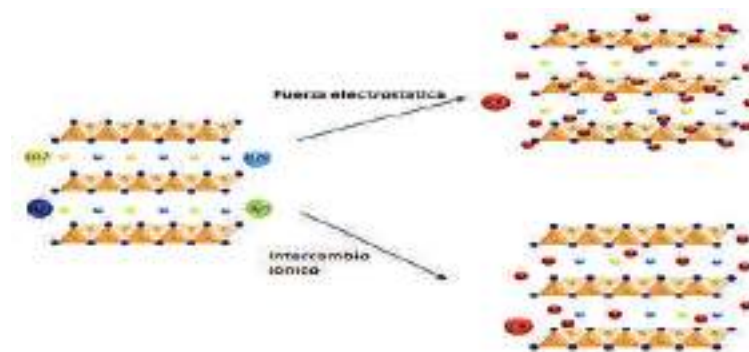


Figura 2. Mecanismos de adsorción de los hidróxidos dobles laminares (Yang, 2019)

Adsorción de colorantes

Los colorantes textiles son ampliamente utilizados en la industria de la moda y, a menudo, se liberan en aguas residuales sin un tratamiento adecuado. Estos compuestos pueden ser tóxicos, persistentes, y pueden afectar negativamente la calidad del agua y la vida acuática. La adsorción con hidrotalcitas de Mg/Al se ha identificado como una opción eficaz para la eliminación de colorantes de aguas residuales.

Cuando los colorantes entran en contacto con las hidrotalcitas, ocurre un proceso de adsorción en el que los compuestos son retenidos en la superficie del material. Las hidrotalcitas tienen una gran afinidad por los colorantes debido a su capacidad para formar enlaces débiles con los grupos funcionales de los compuestos. Esto permite que los colorantes se adsorban y se retengan eficientemente en las capas interlaminares de las hidrotalcitas.

Ventajas de las hidrotalcitas de Mg/Al

La adsorción de colorantes y otros compuestos con hidrotalcitas de Mg/Al ofrece varias ventajas significativas:

- **Alta capacidad de adsorción:** Las hidrotalcitas tienen una gran superficie específica y una alta capacidad de adsorción, lo que les permite retener una cantidad considerable de contaminantes.
- **Selectividad:** Estos materiales son selectivos en la adsorción de diferentes compuestos, lo que los hace adecuados para eliminar colorantes específicos sin afectar otros componentes del agua.
- **Regeneración:** Las hidrotalcitas pueden ser regeneradas y reutilizadas después de la adsorción, lo que las convierte en una opción económica y sostenible.

- **Baja toxicidad:** A diferencia de algunos materiales adsorbentes convencionales, las hidrotalcitas son químicamente estables y no liberan sustancias tóxicas durante el proceso de adsorción.

Además de su capacidad de adsorción, las hidrotalcitas de Mg/Al también presentan una interesante característica conocida como “efecto memoria”. Este efecto se refiere a la capacidad de las hidrotalcitas calcinadas de recuperar su estructura laminar ordenada original mediante la hidratación en solución acuosa o la exposición a la humedad del aire.

Cuando las hidrotalcitas calcinadas se encuentran en contacto con una solución acuosa o la humedad del aire, experimentan una transformación reversible en la cual recuperan su estructura laminar ordenada. Durante este proceso de reconstrucción, se produce un intercambio de aniones entre las capas de la hidrotalcita, lo que permite la intercalación de otros aniones en el material.

Esta característica del efecto memoria ha sido aprovechada en la intercalación de contaminantes del agua. Las hidrotalcitas pueden adsorber cualquier tipo de anión durante la reconstrucción de su estructura mediante el efecto memoria. Esto significa que no solo pueden adsorber colorantes y compuestos orgánicos, sino también contaminantes inorgánicos como metales pesados, iones de fosfato, nitrato, sulfato, entre otros.

El proceso de intercalación de contaminantes en las hidrotalcitas mediante el efecto memoria ha sido objeto de investigación y se han desarrollado diversos estudios al respecto. Investigadores como Mir *et al.* (2020) y Ye *et al.* (2022) han explorado y demostrado la eficacia de este enfoque en la eliminación de contaminantes del agua.

Por lo tanto, el efecto memoria en las hidrotalcitas de Mg/Al les confiere una capacidad única para recuperar su estructura laminar ordenada y permitir la intercalación de aniones durante este proceso. Esta característica se ha aprovechado para la intercalación de contaminantes del agua, lo que amplía aún más la utilidad de las hidrotalcitas en la eliminación de una amplia gama de contaminantes. La investigación continua en este campo contribuirá al desarrollo de tecnologías más eficientes y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales y la protección del medio ambiente.

Aplicaciones adicionales

Además de la eliminación de colorantes, las hidrotalcitas de Mg/Al también se utilizan en la adsorción de otros compuestos orgánicos, como contaminantes farmacéuticos, productos químicos industriales y metales pesados. Su versatilidad y eficiencia las convierten en una opción atractiva para diversas aplicaciones de tratamiento de aguas residuales y purificación de agua.

3. Desarrollo del trabajo

Estudios prometedores

Los hidróxidos dobles laminares (HDL) han sido utilizados en estudios para examinar la adsorción que tienen hacia los colorantes y otros compuestos. En la Tabla I se muestran algunos resultados obtenidos de diferentes estudios.

Tabla 1. HDLs para la adsorción de contaminantes en el agua

Adsorbente/Adsorbato	Concentración inicial del colorante	Concentración final del colorante	% adsorbido	Método de Síntesis	Referencias
HDL (ZnGa, CuZnGa)/ Cr(VI)-naf-taleno	28 mg/L	5.6 mg/L	80%	Coprecipitación	Zarazúa-Aguilar (2018)
HDL (ZnAl, MgAl)/ iones cloruro	50 mg/L	11.5 mg/L	77%	Coprecipitación	Comenaras (2017)
HDL(NiMgAl)/ Co-lorante amarillo 14	200 mg/L	67 mg/L	76.5%	Coprecipitación	Arenas (2016)
HDL (Mg/Al)/ Na-ranja de metilo	100 mg/L	42 mg/g	58%	Coprecipitación	Ramírez (2015)
Hidrotalcitas (Mg/Al)/ Rojo Congo	400 mg/L	0	100%	Hidrotermal	Argote (2020)

Como se observa en la Tabla 1, los HDLs son un material con un porcentaje de adsorción muy alto, además que son sintetizados con diferentes tipos de compuestos; esto ha permitido tener un amplio rango de experimentación en la tarea de adsorción de colorantes de aguas residuales industriales.

4. Conclusiones

Acorde a los diferentes artículos y trabajos publicados acerca de hidróxidos dobles laminares, se puede observar que los HDL cuentan con una combinación de métodos y materiales diversos para su síntesis, lo que permite el desarrollo de experimentos para optimización del rendimiento de adsorción de diferentes materiales. En estudios en donde se encuentra más de un adsorbato presente (por ejemplo, colorantes) representan todavía un área de oportunidad para investigar.

5. Referencias

- [1] Ruiz, A., Giraldo, G., Fernando, L., Ruiz, Á. A., Fernando, L., & Giraldo, G. (2009). Remocion_Colorante_Azul_Remazol_Carbon_Activo.
- [2] Bucio Rodríguez, P. (2020). Degradación de índigo carmín por medio de oxidación electroquímica potenciada con agentes oxidantes (Maestría). Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México.
- [3] N. R. Palapa, T. Taher, R. Mohadi, and A. Lesbani , «Thermodynamic study of direct dye adsorption process onto Zn-Al-NO₃ and Zn-Fe-NO₃ layered double hydroxides», AIP Conference Proceedings 2242,040052 (2020) <https://doi.org/10.1063/5.0007988>
- [4] Alvarado Bonifacio, A., García-Gaitán, B., Hernández-Tenorio, C., García-Rivas, J. L., Recillas-Mota, M. T., Zavala-Arce, R. E., Jiménez-Núñez, M. L., & Soriano-Aguilar, T. (2018). Modification of beads of chitosan and poly(vinyl alcohol) by means of glow discharge plasma for the adsorption of red 2 dye. MRS Advances, 3(63), 3869-3874. <https://doi.org/10.1557/adv.2019.97>
- [5] Valladares Guadalupe (2016). Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. Universidad de Medellín. DOI: 10.22395/rium.v16n31a3
- [6] Argote Fuentes, S., Ramos Ramírez, E., Feria Reyes, R., Gutiérrez Ortega, N. L., & Tzompantzi Morales,

- F. J. (2020). Formación de radicales OH para la degradación catalítica de rojo Congo disuelto en aguas residuales. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 8, 1–9. Recuperado a partir de <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3228>
- [7] Ramírez Llamas, L. A., Jacobo Azuara, A. & Martínez Rosales, J. M. (2015). Adsorción del naranja de metilo en solución acuosa sobre hidróxidos dobles laminares. *Acta Universitaria*, 25(4), 25-34. Doi: 10.15174/au.2015.778
- [8] Arenas González J L (2016). Remoción de colorantes Amarillo Ácido 14 vía adsorción con materiales tipo hidrotalcita Ni-Mg-Al. Instituto Politécnico Nacional. <https://acortar.link/21ajkU>
- [9] Martínez (2012), <https://biblat.unam.mx/es/revista/avances-en-quimica/articulo/hidroxidos-dobles-laminares-arcillas-sinteticas-con-aplicaciones-en-nanotecnologia>

Inestabilidades en la polimerización frontal

Saavedra Labastida Erika¹, Llescas Javier¹

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de México, México.
erika.sl@toluca.tecnm.mx

Resumen. Se llama polimerización al proceso con el que se obtienen los polímeros. Una novedosa propuesta es la polimerización frontal (PF), que ofrece ventajas sobre los métodos convencionales para obtener materiales como resinas, geles funcionales, entre otros. Sin embargo, su implementación a nivel industrial es un reto, ya que existen varios detalles en el proceso, como el tamaño del reactor, las temperaturas que intervienen en el proceso, entre otros, los cuales se deben tomar en cuenta para evitar inestabilidades, mejor conocidas como defectos en los polímeros finales, como digitación, burbujas o poros. El presente estudio tiene como objetivo mostrar las causas por las que se presentan los defectos en los polímeros resultantes obtenidos mediante la PF.

Palabras clave: Polimerización Frontal, Frentes de polimerización, Defectos en polímeros.

1. Introducción

En la actualidad, el uso de polímeros ha aumentado debido a los cambios en el estilo de vida y a las necesidades de los clientes en las diferentes industrias, por ejemplo, en la aeroespacial, automotriz y agrícola [1]. Los polímeros son sustancias químicas formadas por monómeros (pequeñas moléculas), como se puede apreciar en el ejemplo de la Fig. 1, en donde moléculas de etileno, después de la polimerización, forman el polímero de polietileno, que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones (envasado, tuberías, juguetes, automóviles, entre otros) por su versatilidad y bajo costo.

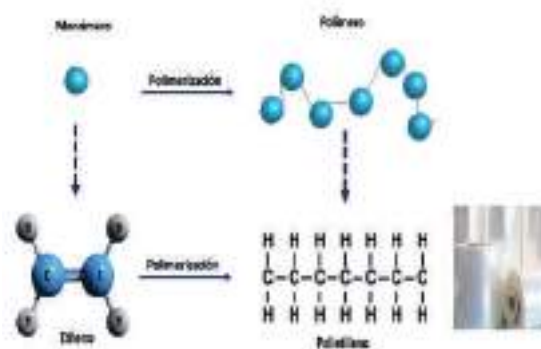


Fig. 1. Ejemplo de la formación del polímero Polietileno, donde C es carbono y H es hidrógeno

La PF utiliza una fuente de energía externa en un punto del reactor (equipo diseñado para llevar a cabo en su interior reacciones químicas) para activar la reacción química que libera energía en forma de calor, conocido como frente de polimerización, el cual se propaga a través de la mezcla de monómero-iniciador convirtiéndolo en polímero (Fig. 2).

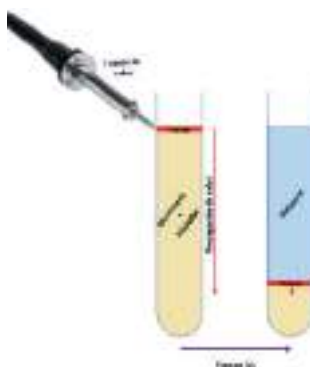


Fig. 2. Proceso de la Polimerización Frontal (PF)

Sin embargo, el frente de polimerización está influenciado por varios factores, como son la temperatura inicial de la mezcla de los reactivos, la composición del monómero, la generación y la transferencia de calor, entre otros; estos pueden afectar la forma de propagación del frente a través de la mezcla (monómero-iniciador), dando origen a las inestabilidades que afectan las propiedades finales de los diferentes materiales que se obtienen.

2. Fundamentos teóricos

El frente de polimerización se puede propagar de forma planar, giratoria y pulsante, siendo la giratoria la más común. Los frentes pulsantes se propagan con una velocidad oscilatoria. La Figura 3a muestra un frente planar con una velocidad constante, el cual se puede volver inestable culminando en un frente pulsante plano; la Figura 3b muestra un frente giratorio caracterizado por una zona de reacción que se propaga en espiral, dejando tras de sí un rastro helicoidal perceptible en el producto. En la Figura 3c se presentan frentes no planos que migran al azar a puntos calientes delante de los frentes; tales frentes se propagan aperiódicamente [7].

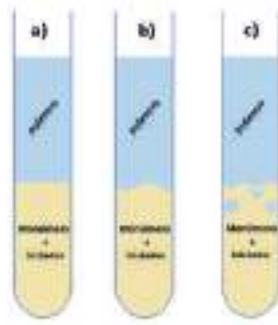


Figura 3. Frente a) plano, b) giratorio y c) pulsante

Algunas de las inestabilidades que pueden presentar los materiales son estructuras macroporosas (poros de gran tamaño), burbujas y digitación (estrías en el polímero); en la Figura 4 se presenta un ejemplo de la apariencia que muestran estas últimas.

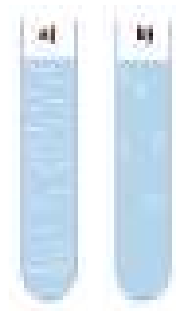


Figura 4. Inestabilidades a) digitación y b) burbujas

3. Desarrollo del trabajo

Se realizó una recopilación de información respecto a los factores que pueden provocar inestabilidades durante los procesos de polimerización frontal, donde se analizan las características más importantes de cada una, las cuales a continuación se describen:

Cambios de temperatura: Son factores importantes en el proceso de PF, pues si se genera una pérdida de calor durante su propagación por la mezcla del monómero-iniciador, ocasiona la reducción de la velocidad del frente e incluso la detención del proceso debido a que ya no hay energía suficiente para sostener el frente. Por otro lado, las altas temperaturas del frente pueden ocasionar que se queme todo el iniciador antes de que haya reaccionado todo el monómero, disminuyendo la velocidad y la transformación a polímero [8]. Una estrategia para evitar esta inestabilidad es el control de la temperatura inicial del reactor, que puede tener un impacto significativo en la fabricación de materiales funcionales a gran escala.

Modo térmico de enfriamiento: Al terminar la polimerización ocurre una pérdida de calor que puede ser a través de las paredes del reactor hacia el ambiente; el polímero, al ser enfriado de forma drástica, afecta su cristalinidad, y se presentan afectaciones considerables en las propiedades del producto final [9]. Una estrategia para evitar este inconveniente es el control de la temperatura ambiente que rodea al reactor.

Efecto del agua y solventes: Algunos monómeros requieren el empleo de solventes o agua. Pequeñas cantidades de agua provocan una disminución de la velocidad del frente debido a la pérdida de energía a través

de la vaporización, lo que reduce la temperatura del frente[8] y afecta la calidad de los materiales obtenidos. Un ejemplo son los hidrogeles, ya que al evaporarse los solventes por las altas temperaturas del frente se producen burbujas de vapor que provocan que los materiales presenten estructuras macroporosas; una estrategia para evitar este inconveniente es el uso de solventes verdes como los monoterpenos (sustancias que se encuentra en plantas y tiene un olor y sabor únicos), que brindan estabilidad térmica.

Concentración del iniciador: El iniciador se utiliza para activar la reacción que libera calor y propagar el frente de polimerización a través del monómero. La naturaleza y concentración del iniciador tiene influencia en la estabilidad de las formas en que se propaga el frente de polimerización, pues la velocidad del frente depende de la energía que se necesita para activar la descomposición del iniciador; tomando en cuenta esta característica, la velocidad se puede controlar mediante la combinación de dos iniciadores [10] 4VP = 4-vinylpyridine. Además, para evitar este inconveniente es importante usar un iniciador que brinde sistemas libres de ebullición por las altas temperaturas del frente para evitar que se produzcan burbujas de vapor, provocando que los materiales presenten estructuras macroporosas.

Propiedades del monómero: La reactividad que tienen por su naturaleza los monómeros es uno de los factores que afectan la velocidad y la temperatura del frente. La velocidad aumenta con el aumento de la funcionalidad de monómeros, lo que se atribuye a una mayor unión de los monómeros. Algunas mezclas de monómero-iniciador requieren el uso de solventes, los cuales reducen la velocidad frontal y la temperatura, debido a que el solvente absorbe calor, además, si son poco viscosos pueden colapsar el frente de propagación; una opción para resolver este problema es el uso de disolventes verdes que actúan como monómero y como disolvente, evitando el uso de disolventes orgánicos adicionales.

Características del reactor: La geometría del reactor influye en los modos en que se propaga el frente. En reactores redondos con diámetros grandes se presentan modos de giro; en reactores cuadrados se presenta en zigzag; en reactores cilíndricos se presentan frentes en modo de espiral y estas características dependen de la viscosidad [11]. Por lo que se debe considerar las propiedades del reactor y su orientación dependiendo de los resultados que se quieran obtener.

Finalmente, entre las estrategias que se han desarrollado para suprimir la inestabilidad de digitación en los polímeros, una es agregarles rellenos como arcillas, nanotubos de carbono, grafeno, entre otros, dependiendo de su función, dando origen a los materiales compuestos o compositos. Otras estrategias son el uso de alta presión, dispersión en agua salada o realizar los frentes en ingravidez y solventes de alto punto de ebullición.

4. Conclusiones

El conocimiento sobre los factores que pueden provocar inestabilidades durante el proceso de la Polimerización Frontal permitirá a los investigadores tomar mejores decisiones para evitar que se presenten y obtener materiales poliméricos con propiedades mejoradas. Aunque aún hay detalles que se deben controlar para que se pueda aplicar industrialmente, se observa en esta revisión que es muy probable que se logren estos avances, pues poco a poco se han ido resolviendo las inestabilidades.

5. Referencias

- [1] D. Manas *et al.*, “The effect of irradiation on mechanical and thermal properties of selected types of polymers,” *Polymers (Basel)*., vol. 10, no. 2, 2018, doi: 10.3390/polym10020158.
- [2] E. Goli, T. Gai, and P. H. Geubelle, “Impact of Boundary Heat Losses on Frontal Polymerization,” *J. Phys. Chem. B*, vol. 124, no. 29, pp. 6404–6411, 2020, doi: 10.1021/acs.jpcc.0c03107.

- [3] M. Ziaee and M. Yourdkhani, "Effect of resin staging on frontal polymerization of dicyclopentadiene," *J. Polym. Sci.*, vol. 59, no. 15, pp. 1732–1739, 2021, doi: 10.1002/pol.20210285.
- [4] N. M. Tsegay, X. Y. Du, S. S. Liu, C. F. Wang, and S. Chen, "Frontal polymerization for smart intrinsic self-healing hydrogels and its integration with microfluidics," *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.*, vol. 56, no. 13, pp. 1412–1423, 2018, doi: 10.1002/pola.29022.
- [5] Y. S. Ramírez Fuentes, J. Illescas, and E. Rivera, "Cien preguntas y cien respuestas sobre materiales." 2011.
- [6] L. Li, Q. Lin, M. Tang, A. J. E. Duncan, and C. Ke, "Advanced Polymer Designs for Direct-Ink-Write 3D Printing," *Chem.–A Eur. J.*, vol. 25, no. 46, pp. 10768–10781, 2019, doi: 10.1002/chem.201900975.
- [7] S. R. Inamdar, N. S. Pujari, I. A. Karimi, S. Ponrathnam, R. K. Tayal, and B. D. Kulkarni, "Spinning wave motion in frontal polymerization," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 62, no. 5, pp. 1448–1455, 2007, doi: 10.1016/j.ces.2006.11.037.
- [8] D. P. Gary *et al.*, "Thermal transport and chemical effects of fillers on free-radical frontal polymerization," *J. Polym. Sci.*, vol. 58, no. 16, pp. 2267–2277, 2020, doi: 10.1002/pol.20200323.
- [9] S. P. Davtyan, A. A. Berlin, and A. O. Tonoyan, "Advances and problems of frontal polymerization processes," *Rev. J. Chem.*, vol. 1, no. 1, pp. 56–92, 2011, doi: 10.1134/s207997801101002x.
- [10] W. Q. Tang, L. H. Mao, Z. F. Zhou, C. F. Wang, Q. L. Chen, and S. Chen, "Facile synthesis of 4-vinylpyridine-based hydrogels via laser-ignited frontal polymerization and their performance on ion removal," *Colloid Polym. Sci.*, vol. 292, no. 10, pp. 2529–2537, 2014, doi: 10.1007/s00396-014-3279-8.
- [11] J. A. Pojman, *Cure-on-Demand Composites by Frontal Polymerization*. Elsevier Ltd., 2022.

Simulación Molecular del quitosano y nanopartículas de óxido de plata y su validación por difracción de rayos X

Pérez Álvarez, Mario¹, Martínez-Gallegos, Sonia¹, Illescas, Javier¹, Sánchez-Ruiz, Francisco Javier², Domínguez-Castro, Héctor³, Vicente-Hinestroza, Luis⁴

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de México, México.

² Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.

³ Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México.

⁴ Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.

dd20280259@toluca.tecnm.mx

Resumen. El quitosano (QS) es un polímero natural que puede obtenerse de la quitina, que es el segundo polímero natural de mayor abundancia en el planeta después de la celulosa. Las nanopartículas de plata pueden ser usadas como desinfectantes o en aparatos electrónicos. Se llevó a cabo un estudio teórico del QS y las nanopartículas de óxido de plata y se simuló el comportamiento a nivel físico y químico por medio de la mecánica clásica y mecánica cuántica, que son herramientas de física y matemáticas. Para ello, se utilizó el software de simulación molecular Materials Studio®, con el que también se simuló la difracción de rayos X. Los resultados muestran que las moléculas simuladas y las experimentales comparten los picos de difracción principales ubicados en los mismos ángulos, por lo que el método empleado para obtener los modelos simulados permitió obtener moléculas con características similares a las obtenidas de manera experimental.

Palabras clave: quitosano, nanopartículas de plata, simulación molecular.

I. Introducción

La búsqueda de nuevos materiales y la modificación del entorno natural ha sido parte intrínseca y fundamental en la evolución de la humanidad desde sus comienzos. La nanotecnología es un área reciente de desarrollo tecnológico que se vale de la investigación de la materia a nivel molecular, es decir, a niveles de 10^{-9} metros (nanómetros); esto es una millonésima parte de un milímetro, o para entenderlo, es aproximadamente 80 000 veces más pequeño que el diámetro de un cabello humano. A esta escala la materia reacciona de una forma diferente, es decir, cambian sus propiedades, por ejemplo, su color, temperatura de fusión o conductividad

eléctrica. También cambia su manera de reaccionar en presencia de otros materiales, por ejemplo, dependiendo de su tamaño puede ser repelente al agua o absorberla [1]. Así pues, hoy en día es posible manipular la materia a nivel molecular para formar materiales con propiedades y por ende aplicaciones específicas.

Un polímero es una molécula enorme formada por varias unidades moleculares repetidas que pueden ser naturales (formadas sin intervención del hombre) o sintéticas (hechas por el hombre). El quitosano (QS) es un polímero natural, es decir, proviene de la naturaleza, aunque también se puede obtener a partir de otro polímero natural mucho más abundante, que es la quitina [2].

El modelado y las simulaciones moleculares son herramientas invaluable para la comunidad de la nanociencia y la ingeniería de materiales, ya que ayudan a entender los fenómenos que ocurren con la materia, además de ahorrar tiempo y costos en ensayos de experimentos con material de laboratorio. Estos enfoques computacionales permiten predicciones y proporcionan explicaciones de la estructura macromolecular y propiedades de los materiales, es decir, cómo se forman los materiales y para qué pueden servir. Con los avances recientes en el poder de la computación, las simulaciones moleculares pueden informar, guiar y complementar de manera simultánea los experimentos de diseño y aplicación de nuevos materiales. Para garantizar que las simulaciones moleculares se aprovechen correctamente y se obtengan resultados fidedignos de estas, se debe tener cuidado y garantizar su validez y reproducibilidad. La validez de un modelo molecular de un material como el QS o de una nanopartícula se puede comprobar haciendo comparaciones de su estructura dada por técnicas tales como la microscopía electrónica o la difracción de rayos X, con las obtenidas de manera experimental.

Estas técnicas permiten observar la materia a nivel molecular, donde el ojo humano no es capaz de observar. Si las imágenes en el microscopio electrónico tienen puntos de semejanza con las obtenidas en los modelos, entonces se puede decir que estos son válidos o representan al material en estudio; por otro lado, calcular o hacer modelos de materiales no es fácil, ya que conlleva una serie de cálculos físico-matemáticos que definen las características de dichos materiales, de acuerdo con un modelo empleado, que puede ser la mecánica clásica o la mecánica cuántica [3].

2. Fundamentos teóricos

Una de las muchas aplicaciones prometedoras de la nanotecnología es la fabricación de nanomateriales con un preciso control de sus propiedades, las cuales se modifican al pasar de tamaño normal, es decir, de la escala micro (una millonésima de metro $1 \times 10^{-6} \text{m}$) a la escala nanométrica (una milimillonésima de metro $1 \times 10^{-9} \text{m}$).

Construcción de modelos

El QS es un polímero natural, es decir, que proviene de la naturaleza. Este puede representarse con cadenas oligoméricas formadas por monómeros que a su vez son como los ladrillos con los que se puede formar la cadena de polímeros. A partir de la estructura química del QS se puede dibujar un primer modelo siguiendo las herramientas básicas de construcción de moléculas del software Materials Studio®. De igual forma, los modelos de nanopartículas de Ag_2O se forman siguiendo las características cristalinas del material, es decir, ya hay definidas previamente una serie de reglas geométricas para ubicar la posición de los átomos en un cristal. Para ejemplificar la construcción geométrica de los primeros modelos en la **Figura 1a** se puede apreciar en detalle el paso de la estructura química hacia el modelo de la cadena del QS, y de similar forma en la **Figura 1b** se ilustra cómo hacer crecer las nanopartículas de óxido de plata siguiendo las reglas geométricas de la cristalografía.

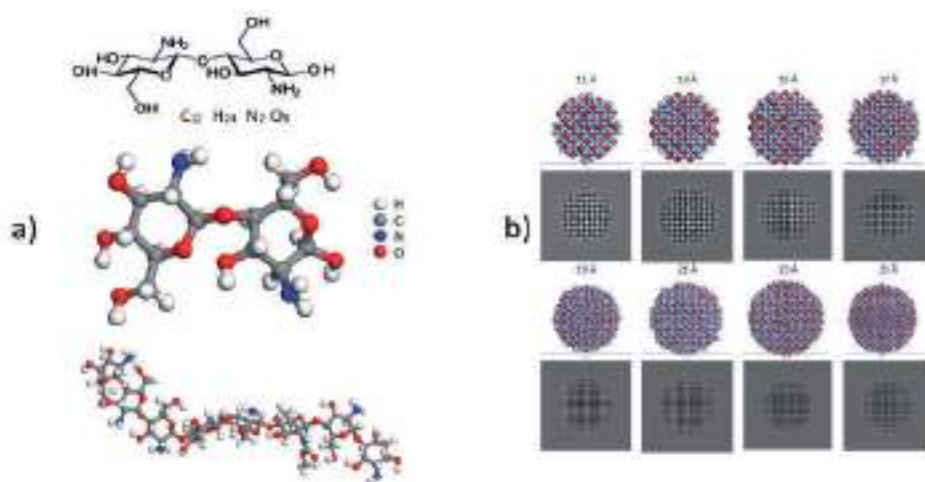


Figura 1. a) Elaboración de un modelo de una cadena de quitosano; b) Modelos de nanopartículas de óxido de plata

Optimización geométrica de los modelos

Una vez que se tienen propuestos los primeros modelos geométricos de los materiales que se están estudiando, es importante hacer el cálculo de energía potencial de estos y llevarlos mediante un algoritmo a su estado de mínima energía potencial, ya que si se quiere que los modelos sean válidos, es necesario que cumplan con las reglas físicas que hay en la naturaleza, donde todo, incluso nosotros mismos, busca siempre estar en equilibrio, es decir, con la menor energía potencial posible. Para este objetivo se usaron métodos de física, como son la mecánica clásica y la mecánica cuántica. La mecánica clásica se vale de las leyes clásicas de movimiento de Newton, por lo que los átomos son tratados como esferas unidas por resortes con una distancia entre estas medidas empíricas partiendo de unas coordenadas iniciales y una distribución de equilibrio de velocidades, sin tomar en cuenta que estas esferas a la vez están formadas por más partículas: protones, neutrones y electrones, que en mecánica cuántica son tomados en cuenta.

Una de las ventajas del software Materials Studio® es que tiene implementados algoritmos de minimización y simulación molecular, usando ambos métodos (mecánica clásica y mecánica cuántica) de una manera tan eficiente que se puede usar un computador de escritorio sin necesidad del uso de supercómputo (computadoras especiales de gran tamaño y capacidad), como antes era necesario para hacer modelos que representen a los materiales que se están estudiando como si fuese un laboratorio virtual. Además, el software incluye métodos de análisis y caracterización, como la difracción de rayos X, que se utiliza para comparar los modelos con el material real y poder validarlos.

La difracción de rayos X es una herramienta que permite determinar la geometría tridimensional de materiales como los cristales, e implica el uso de radiaciones electromagnéticas, es decir, rayos X, para determinar el espacio que existe entre los átomos dentro de un cristal. Cuando los rayos X viajan a través de una estructura cristalina, son difractados por sus diversas capas atómicas o moleculares dentro de ese cristal.

3. Desarrollo del trabajo

La optimización geométrica de los modelos de las nanopartículas de óxido de plata, así como del QS, se llevó a cabo a partir de los modelos más pequeños que se tenían de estos por medio del método de mecánica cuántica utilizando el módulo DMol³ contenido en el software Materials Studio®. Posteriormente, se formaron los modelos más grandes de los materiales tomando como semilla los modelos pequeños optimizados previamente, y después se optimizaron los modelos grandes por métodos de mecánica clásica que contiene el módulo Forcite del Materials Studio®. Finalmente, utilizando el módulo reflex del Materials Studio®, se calcularon los patrones de difracción de los modelos de nanopartículas de óxido de plata y del QS y se compararon con los patrones de materiales experimentales; en el caso del QS se utilizó un material adquirido de la empresa Sigma Aldrich y para las Ag₂NPs se utilizó la tarjeta cristalográfica de la base de datos JCPDS de los diferentes cristales que se obtienen del óxido de plata (Ag₂O).

Los modelos del QS son moleculares, no cristalinos, sin embargo, en la literatura se reportan estudios de la cristalinidad del QS y su caracterización por medio de la difracción de rayos X [4]. Los modelos dibujados de los oligómeros de QS fueron optimizados y llevados a su estado de mínima energía potencial por métodos de mecánica clásica y mecánica cuántica usando el software Materials Studio®. Del modelo optimizado se construyó el modelo de un cristal usando parámetros tomados de la literatura [3]. En la **Figura 2** se muestra la comparación del espectro de difracción de rayos X del material experimental (**a**) y del simulado (**b**) a partir de los modelos calculados.

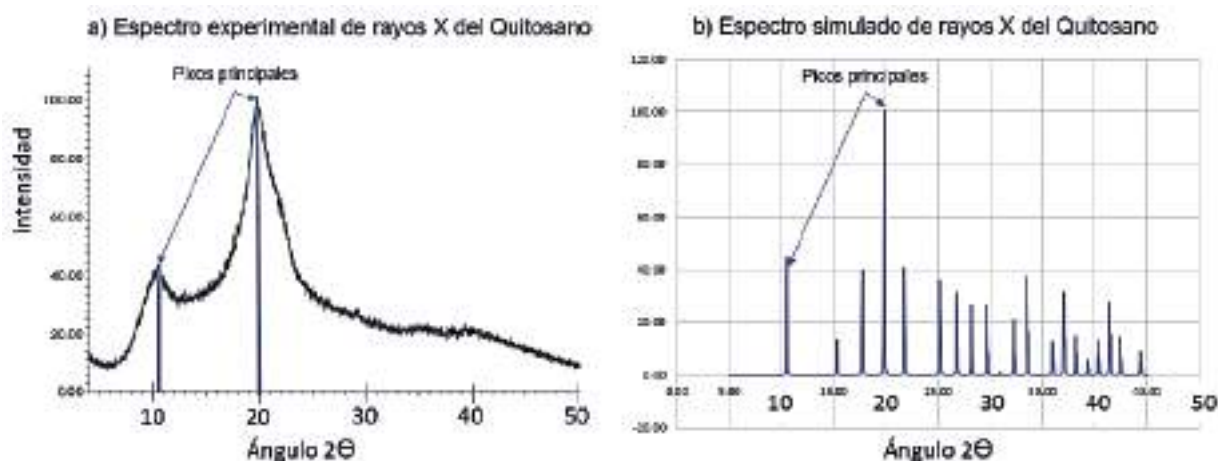


Figura 2. a) Espectro de rayos X experimental del QS; b) Espectro de rayos X simulado del modelo del QS

Las bases de datos JCPDS proporcionan las difracciones de rayos X de todos los cristales que se han estudiado, lo que permite comparar los puntos de difracción con los modelos simulados que se tienen. En la Figura 3 se compararon el patrón de difracción de rayos X de nuestros modelos con los de la tarjeta JCPDS 12-0793, que corresponde al cristal de Ag₂O.

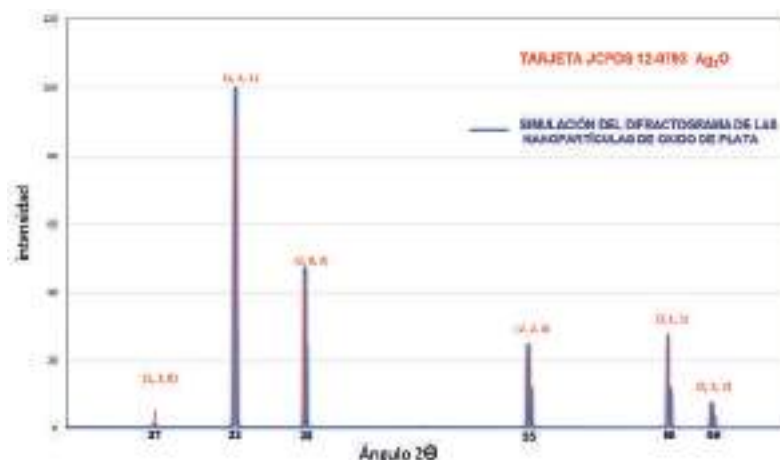


Figura 3. Patrón de difracción simulado de los modelos de Nanopartículas de óxido de plata. y la tarjeta JCPDS 12-0793, cristal de Ag_2O

4. Conclusiones

La comparación de los gráficos de rayos X del material real con los modelos simulados permitió validar nuestros modelos y de esta forma tener una predicción teórica del comportamiento de materiales reales en computadora, con lo que se puede hacer experimentos computacionales en diferentes escenarios, como los que se realizarían en un laboratorio pero sin necesidad de utilizar el material real; es decir, se pueden hacer simulaciones con temperatura y en diferentes ambientes que simulen las condiciones de laboratorio, con lo que se podría predecir cómo se va a comportar el material real y qué características tendría este. De esta forma es posible ahorrar recursos y tener una mejor comprensión del comportamiento de los materiales a nivel teórico.

5. Referencias

- [1] Giraldo, J. D., & Rivas, B. L. (2020). Direct ionization and solubility of chitosan in aqueous solutions with acetic acid. *Polymer Bulletin*. doi:10.1007/s00289-020-03172-w.
- [2] Morin N, Lichtfouse E, Torri G, Crini G, (2019). Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry. *Environmental Chemistry Letters*, Springer Verlag, 2019, 17 (4), pp. 1667-1692. ff10.1007/s10311-019-00904-xf. fhal-02402948.
- [3] Cunha R A, Soares T A, Rusu V H, Pontes F J S, Franca E F, Lins R D. (2012). The Molecular Structure and Conformational Dynamics of Chitosan Polymers: An Integrated Perspective from Experiments and Computational Simulations, *The Complex World of Polysaccharides*, Intech, <http://dx.doi.org/10.5772/51803>.
- [4] Potara, M., Jakab, E., Damert, A., Popescu, O., Canpean, V., & Astilean, S. (2011). Synergistic antibacterial activity of chitosan–silver nanocomposites on *Staphylococcus aureus*. *Nanotechnology*, 22(13), 135101. doi:10.1088/0957-4484/22/13/135101.

Influencia de las condiciones del medio y del grado de entrecruzamiento del material adsorbente en la remoción de un colorante ácido con película de quitosano

Ayala-Gutiérrez, Daniel¹, Zavala-Arce, Rosa Elvira¹, García-González, Alfredo¹

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de

México, México.

rzavalaa@toluca.tecnm.mx

Resumen. Se emplearon tres muestras de películas de quitosano; todas se sintetizaron en las mismas condiciones y cuyas variantes para modificar fueron la dosis del agente entrecruzante Etilenglicol diglicidil éter (EGDE) y el pH de las soluciones, con la finalidad de modificar algunas de las propiedades físicas y químicas del biopolímero; además, los materiales se sometieron a pruebas que involucran agua sintética con colorantes ácidos; asimismo, se realizaron ensayos de solubilidad a diferentes valores de pH con solución sintética de colorante Azul No. 1 (E-133 Azul brillante FCF). En dichas pruebas se puede observar que los materiales son resistentes a todos los valores de pH, además ocurre una remoción de color Azul en cada uno de los materiales, obteniendo valores por arriba del 90%; además, es preciso notar que los materiales presentan diferentes características físicas efecto de la cantidad de entrecruzante, la humedad adquirida, rigidez y flexibilidad, que son atribuidas principalmente al grado de entrecruzamiento de las muestras, demostrando que a mayor dosis de entrecruzante, la rigidez aumenta, pero la humedad y el grosor de la película disminuyen, en contraste con la capacidad de remoción, donde el material con menor dosis de entrecruzante es el que alcanzó un mejor porcentaje de remoción del colorante.

Palabras clave: quitosano, colorantes, películas.

1. Introducción

La contaminación del agua actualmente es una situación alarmante a nivel mundial; sabemos que ello aumenta de manera significativa con el grado de desarrollo de la población, lo cual genera preocupación por ser el elemento transporte de la vida.

Entre los diversos causantes de la contaminación del agua se encuentran los colorantes, en especial los de origen sintético de la familia de los azoicos, responsables de muchos de los efectos nocivos para el medio ambiente.

Entre los efectos que provocan se encuentra la disminución de oxígeno disuelto, eutrofización, formación de compuestos recalcitrantes y tóxicos para las células, y la obstaculización del paso de luz hacia los cuerpos de agua y su deterioro estético (Ruiz, Giraldo, 2009).

Diversas técnicas son empleadas para tratar los efluentes que contienen colorantes. Hoy en día, se reconoce que la adsorción es un método efectivo y económico para el tratamiento de los efluentes. La adsorción de colorantes utilizando biopolímeros como el quitosano sigue teniendo aspectos que se deben estudiar para la remoción de colorantes incluso en concentraciones bajas. Existen varias formas de trabajar con quitosano, desde polvo, hojuelas, también como espuma, películas, perlas, entre otras, y en particular las películas son objeto de estudio de este trabajo, debido a que se realizaron estudios de la interacción con un colorante sintético como lo es el Azul No. 1 (Azul Brillante FCF) en solución acuosa. En esta interacción se busca mostrar cómo el pH del medio y el grado de entrecruzamiento del material afectan la capacidad de remoción de, en este caso, el colorante mencionado.

Este trabajo también incide en el área ambiental al aprovechar un residuo orgánico proveniente de la industria pesquera y restaurantera altamente disponible, como es la cáscara de camarón principalmente, de la que indirectamente proviene el quitosano.

2. Fundamentos teóricos

Los colorantes, en cuanto a origen, son clasificados como orgánicos y sintéticos, por su estructura en colorantes azo, nitrosos, y debido a sus aplicaciones en ácidos, básicos, reactivos y dispersos (K. Sanjiwani, et al, 2021).

Los colorantes sintéticos son los más versátiles debido a su sinfín de aplicaciones en la industria alimenticia, textil, farmacéutica, entre otras. El problema ambiental que se genera con los colorantes es para la vida acuática y humana cuando son descargados y consumidos debido a que son causantes de graves efectos para la salud como cáncer, tumores, irritación en la piel, mutagénesis, fracturas cromosómicas y trastornos respiratorios (K. Sanjiwani, 2021).

Dentro de los colorantes ácidos se encuentra el Azul No. 1 (E-133 Azul brillante FCF), un colorante aniónico, sintético, utilizado ampliamente en la industria de alimentos. Entre las aplicaciones más comunes se encuentran el uso en pastillas, goma de mascar, galletas, chocolates; su nombre común es azul brillante FCF; se puede identificar de manera visual en la Fig. 1, donde se observa que es una sal altamente soluble en agua, glicerina, propilenglicol, y ligeramente soluble en etanol. Posee una buena estabilidad ante los ácidos y se desempeña mejor en ambientes neutros.

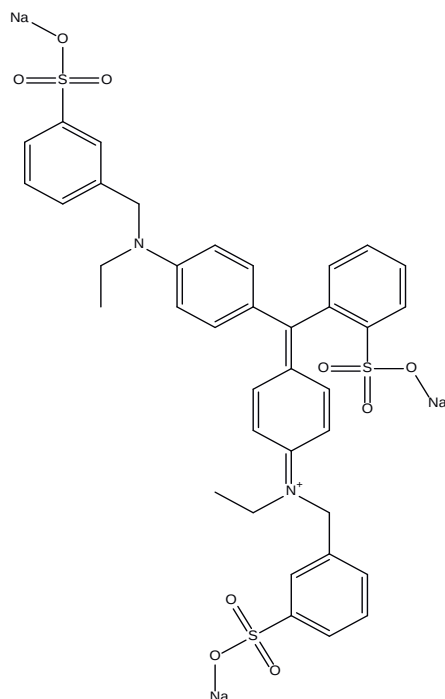


Fig. 1. Estructura molecular del colorante Azul No.1 (E-133 Azul brillante FCF)

El quitosano es un polímero que proviene de la quitina por medio de reacciones de desacetilación. El segundo biopolímero más abundante en la tierra se origina del exoesqueleto de crustáceos, es insoluble en agua y altamente soluble en solventes orgánicos ácidos comunes; la solubilidad y viscosidad del quitosano dependen del grado de desacetilación (GDA) (C. Lárez, 2003). En la Figura 2 se puede apreciar la forma molecular del quitosano; en ella se puede identificar los grupos funcionales amino e hidroxilo, que serán los encargados de las interacciones del biopolímero con otros materiales.

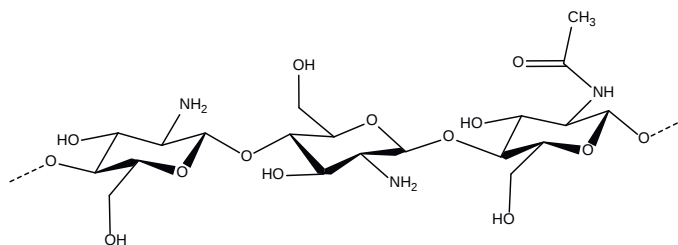


Figura 2. Molécula de quitosano

Los agentes entrecruzantes son compuestos multifuncionales que les pueden otorgar a los polímeros diferentes características específicas; la relación de entrecruzamiento se define como la relación entre los moles de agente entrecruzante y los de las unidades repetidas de monómeros. A mayor entrecruzamiento, mayor cantidad de agente entrecruzante es incorporado en la estructura del polímero, es decir, los polímeros muy entrecruzados tienen una estructura más compacta, rígida, opaca, frágil, y adquieren menos humedad dentro de la molécula en comparación con materiales con un entrecruzamiento menor (Arcos, 2012).

El agente entrecruzante que se utiliza en este trabajo es el EGDE, que interactúa con los grupos hidroxilo (-OH) y las cadenas laterales que se presentan en el quitosano. La fórmula molecular del EGDE es $C_8H_{14}O_4$, tiene un peso molecular de 174.1944 g/mol y un punto de ebullición de 112 °C a 4.5 mmHg.

El EGDE es un compuesto que tiene dos grupos funcionales epóxido (éteres cíclicos) localizados en ambos extremos de cada molécula (ver Figura 3). Estos éteres son reactivos, debido a la alta energía asociada a las considerables tensiones que existen en el anillo de tres miembros. Para la reacción de entrecruzamiento con este tipo de agente, la abertura del anillo epóxido y la interacción química de los grupos funcionales amino, carboxilo e hidroxilo del quitosano, pueden ocurrir en medio ácido o básico (Arcos, 2012).

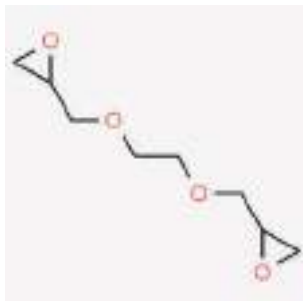


Figura 3. Estructura química del Etilenglicol diglicidil éter

3. Desarrollo del trabajo

Para este trabajo se utilizó quitosano grado alimenticio de Alimentos América, lote K1202029, un grado de desacetilación de 84.54%, el peso molecular es 82,682.6 g/mol; también se emplea como agente entrecruzante el EGDE de Tokyo Chemical Industry Co. EC. No. 218-746-2.

Para la preparación de las películas se disolvieron 3.78g de quitosano en ácido acético 0.4M; esta solución se realizó a temperatura ambiente con agitación moderada hasta lograr que fuera homogénea; posteriormente a este proceso, se agregó la dosis para emplear según el tipo de muestra de entrecruzante (EGDE) en mezcla continua durante 5 horas a temperatura ambiente.

Para la síntesis de películas, el gel de quitosano obtenido se vació en recipientes de acrílico de forma rectangular, cuyo volumen fue en proporción definida de 1.0034 mL/cm²; posterior a esto, los recipientes se llevaron a secar a 45 °C durante 24 h; la película se llevó a un proceso de lavado con agua desionizada hasta obtener un pH neutro en el agua de lavado.

Se realizaron pruebas preliminares de adsorción de colorantes, con la finalidad de comparar el efecto de la cantidad de entrecruzante en la síntesis (309 µL, 650 µL y 1300µL), en la capacidad de adsorción y en las propiedades mecánicas y de solubilidad de la película. Las películas se pusieron en contacto a soluciones de colorante de cuatro diferentes valores de pH (2.0, 2.5, 3.0 y 7.0), usando de manera similar 0.27 gramos de película seca por litro de solución. Los resultados de la experimentación se presentan a continuación.

Las películas sintetizadas mostraron una textura lisa al tacto y tendiendo a la transparencia, la cual era más apreciable conforme se reduce la cantidad de entrecruzante, y por el contrario, aumentan su firmeza y fragilidad al aumentar la cantidad de entrecruzante; esto es característico de materiales con mayor rigidez; de igual manera, se observa que la humedad del material se incrementa a medida que se reduce la cantidad de entrecruzante, mostrando que entre mayor rigidez tenga el material, menor es la cantidad de agua retenida dentro de sus poros; esto se puede ver reflejado en la Tabla 1.

Tabla. 1. Tabla comparativa del porcentaje de humedad con respecto al material sintetizado

Material	Porcentaje de Humedad	Propiedades del material seco / húmedo
		Transparente, firme / cristalino suave
Película 309 μ L EGDE /100 mL Quitosano 95%		
Película 650 μ L EGDE /100 mL Quitosano	63%	Opaco firme / cristalino suave
Película 1300 μ L EGDE /100 mL Quitosano	57%	Opaco firme/ cristalino firme

Para comparar el efecto de la cantidad de entrecruzante en las películas sobre la capacidad de remoción del colorante azul, se realizaron pruebas de remoción de colorante a 250 mg/L a 30 °C durante 72 horas, tal como se muestra en la siguiente Figura 4.

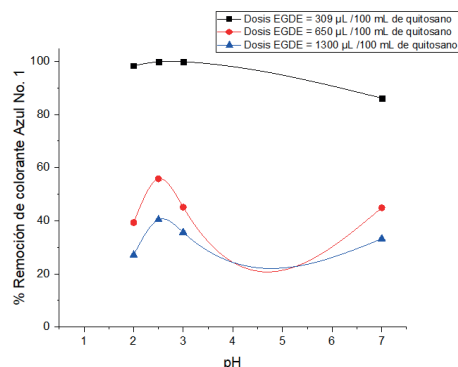


Figura 4. Efecto del pH de la solución y grado de entrecruzamiento de la película de quitosano en la adsorción del colorante Azul No. 1 a 250 mg/L de concentración inicial

Se observa que a medida que la cantidad de entrecruzante disminuye, la capacidad de remoción aumenta, sin embargo, al comparar con las propiedades físicas, podemos observar que las películas que remueven en mayor cantidad son flexibles y quebradizas; esto se asocia a las pobres propiedades mecánicas que presenta de manera natural el quitosano. Por otra parte, también en la Figura 4 se observa cómo los pH ácidos en general tienden a remover una mayor cantidad de colorante; lo anterior evidencia que la protonación del grupo amino del quitosano favorecidas por las condiciones del medio, incide en una mejor interacción con sustancias de naturaleza iónica, como en este caso es el colorante ácido utilizado en este trabajo. Los resultados anteriores dan pie a establecer que en estudios posteriores se buscará una condición de equilibrio entre la capacidad de remoción y la resistencia del material, lo cual permita su aplicación en sistemas de adsorción ya sea en lotes o en continuo.

4. Conclusiones

De acuerdo con lo observado en los resultados, la capacidad de remoción de colorantes de naturaleza aniónica como el utilizado en este trabajo por el quitosano se ve influenciada tanto por el grado de entrecruzamiento del quitosano, como por las condiciones del medio, en particular el pH de la solución que contiene el soluto (colorante) que remover. Una mayor cantidad de entrecruzante en la película de quitosano por un lado hace que presente mayor rigidez, menor flexibilidad al tacto y opacidad, lo cual es esperado debido a que las cadenas poliméricas del quitosano se unen entre ellas químicamente, restando movilidad y espacio libre entre las cadenas entrecruzadas, traduciéndose en una menor capacidad de remoción del colorante. Por otra parte, los pHs ácidos favorecen a la protonación del grupo funcional amino presente en el quitosano, el cual interviene en los procesos de remoción tendientes a la adsorción, en este caso, de solutos de naturaleza aniónica como el colorante Azul No. 1 utilizado; de ahí que los valores de pH más ácidos de las soluciones son en los que se favoreció que se presentara una mayor capacidad de remoción. Lo anterior lleva a concluir que, en los procesos de remoción de solutos de naturaleza aniónica con materiales a base de quitosano, parámetros como el grado de entrecruzamiento del material y el pH de la solución que contenga el soluto por remover son importantes para lograr procesos eficientes.

5. Referencias

- [1] Velazco, F., Molano, A., y Pramparo, L.: Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas para la remoción de carga orgánica en industria de bebidas no alcohólicas, *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 13, No. 26, páginas 17-26 (2019).
- [2] Doi: <http://doi.org/10.31908/19098367.1150>
- [3] Sanjiwani, K., Sharvari, D., Swati, T., Ravin, J., Implementation of response surface methodology in physichemisorption of indigo carmine dye using modified chitosan composite, *Carbohydrate polymer technologies and applications* (2021).
- [4] Doi: <http://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100081>
- [5] Lárez, C.: Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos, *Rev. Iberoam. Polímeros*, vol. 4, no. 2, pp. 91–109 (2003).
- [6] Sánchez, D., y Correa, M.: Cinética de adsorción del colorante rojo allura en solución con quitosano-tripolifostato, p. 170 (2017).
- [7] Arcos A. A.: Síntesis y caracterización de un criogel a partir de quitosano y su estudio como adsorbente de iones Cu (II) en solución acuosa, Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico de Toluca (2012).
- [8] Balderas, J.: Síntesis de películas de quitosano y quitosano-ppy expuestas a plasma y su evaluación en la eliminación de colorantes rojo 2 y amarillo 5 en soluciones acuosas, Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias Ambientales, Instituto Tecnológico de Toluca (2021).

Determinación del contenido de polifenoles y flavonoides totales en plantas de uso medicinal

Gallegos Marín, Ivet¹, Van Vollenhoven Hernández, Luis Andrés², Martínez Sánchez, Cecilia Eugenia²

¹ CONAHCYT-Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Calzada Dr. Víctor Bravo Ahuja No. 561, Col. Predio el Paraíso, San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, C.P. 68350, México.

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Calzada Dr. Víctor Bravo Ahuja No. 561, Col. Predio el Paraíso, San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, C.P. 68350, México.
ivet.gallegos@conahcyt.mx

Resumen. México ocupa el segundo lugar mundial con 4500 plantas medicinales registradas debido a su vasta flora. La medicina natural tiene gran impulso ya que es base fundamental para la salud humana. En la actualidad, el uso de estas plantas ha ido en aumento, es por eso que el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el contenido de polifenoles y flavonoides totales de extractos hidroalcohólicos de hojas de plantas de acuyo, orégano y cilantro. Se determinó el contenido de polifenoles y flavonoides totales en los extractos. El extracto que presentó un mayor contenido de polifenoles totales fue el de hojas secas de acuyo, y en el de contenido de flavonoides totales fue el extracto de hojas secas de orégano. No hubo degradación de los polifenoles y flavonoides totales durante el proceso de secado de las hojas, sin embargo, hubo una concentración de dichos compuestos debido a la pérdida de agua durante el secado.

Palabras clave: plantas medicinales, polifenoles totales, flavonoides totales.

1. Introducción

En la actualidad, los hábitos tradicionales en la medicina natural se han ido modificando de tal forma que no solo se busca que las plantas proporcionen un beneficio al ser utilizadas como remedio natural, sino que también contengan propiedades nutricionales y nutraceuticas que las vuelvan consumibles, que proporcionen beneficios extras a la salud de los consumidores. Así, los productos hortofrutícolas son la fuente más importante de vitaminas, minerales y fitoquímicos que contribuyen a una alimentación más sana y nutritiva.

La búsqueda de sustitutos fitoterapéuticos o alimentarios, válidos para la salud de los seres humanos, constituye un tema vigente en el sector agropecuario en México. Esta situación se hace patente debido a que el

uso indiscriminado de antibióticos convencionales provoca el desarrollo de cepas bacterianas patógenas con resistencia a medicamentos, lo que dificulta el tratamiento de los seres vivos afectados.

Por esta razón se han impulsado las investigaciones hacia la búsqueda de compuestos de origen vegetal con actividad antibacteriana, antioxidante, antiséptica, entre otras, para combatir enfermedades comunes o específicas en el mundo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar los compuestos bioactivos de extractos hidroalcohólicos de hojas de acuyo, orégano y cilantro, en estado fresco y seco.

2. Fundamentos teóricos

Plantas medicinales

Las plantas medicinales son una fuente rica de compuestos bioactivos a los cuales se les han atribuido las propiedades benéficas de dichas plantas, e incluso diversos fármacos utilizados en la actualidad tienen su origen en el estudio de estos.

De las plantas medicinales se pueden utilizar tanto las hojas como los tallos, corteza, raíces, etc., ya sea solos o en combinación, y la forma más común en la que se administran es a través de infusiones. Es en estas preparaciones donde se solubilizan los compuestos responsables de los efectos benéficos reportados. Estos compuestos se conocen como productos naturales, de los cuales los fitoquímicos son los más comúnmente estudiados. Actualmente, se ha reportado que cerca de un tercio de la población mundial aún utiliza plantas como remedio natural [1].

Acuyo (*Piper auritum*)

Piper auritum es una especie originaria de Centroamérica y el norte de América del Sur, desde México hasta Colombia, Ecuador y Venezuela. En México, se encuentra distribuido desde Chiapas, Tabasco, Oaxaca, Veracruz e Hidalgo, hasta Guerrero, Puebla, Nayarit y San Luis Potosí (Arcilla 2004).

El acuyo es utilizado como antiinflamatorio, y para disminuir la fiebre, combatir los nervios, el insomnio, mantener un sistema digestivo sano. En cuanto a problemas respiratorios, es excelente para ayudar a tratar el asma y la bronquitis [1].

Orégano (*Lippia graveolens*)

El nombre “orégano” comprende más de dos docenas de diferentes especies de plantas, con flores y hojas que presentan un olor característico “especioso”. Las hojas secas del orégano son de uso culinario común y de uso medicinal [2].

La hoja del orégano se usa no solo como condimento de alimentos, sino también en la elaboración de cosméticos, fármacos y licores, motivos que lo han convertido en un producto de exportación [3].

Cilantro (*Coriandrum sativum*)

Coriandrum sativum, llamado popularmente cilantro en México, es una hierba anual de la familia de las apiáceas que se caracteriza por sus delgadas ramas y su olor tan representativo. Su uso más común es como condimento para las comidas, sin embargo, también tiene propiedades medicinales ya que ha sido utilizado para facilitar la digestión, evitar flatulencias y estimular el apetito; es rico en fibra dietética, por lo que ayuda a bajar el colesterol y los niveles de glucosa en la sangre [1].

Compuestos Bioactivos

Son un tipo de sustancia química que se encuentra en pequeñas cantidades en las plantas y ciertos alimentos (como frutas, verduras, nueces, aceites y granos integrales). Los compuestos bioactivos cumplen funciones en el cuerpo que pueden promover la buena salud; en la actualidad están en estudio para la prevención del cáncer, las enfermedades del corazón y algunas otras. Los ejemplos de compuestos bioactivos incluyen el grupo de los polifenoles.

3. Desarrollo del trabajo

Obtención y acondicionamiento de la materia prima

Las plantas de acuyo, orégano, y cilantro fueron proporcionadas por una proveedora de plantas de cocina en el municipio de Loma Bonita, Oaxaca. Se removieron las hojas maltratadas o con coloraciones anormales y se sometieron al proceso de deshoje. Posteriormente, se procedió a secar las hojas mediante una estufa marca BINDER, modelo ED 53-UL, a una temperatura de 60 °C durante 3,30 horas (Figura 1). Por último, las hojas secas fueron molidas en un molino eléctrico para reducir el tamaño de partícula y, una vez molidas, se pasaron por un tamiz malla 40 (Figura 1).

Se determinó el contenido de humedad tanto al polvo seco de las hojas como a las hojas sin someterlas a secado, pesando 4 g de muestra y secándolas en una estufa durante 24 horas.



Figura 1. Secado y tamizado de hojas (elaboración propia)

Extracción de compuestos bioactivos asistido por ultrasonido

Para poder cuantificar el contenido de polifenoles y flavonoides totales fue necesario realizar una extracción de estos compuestos siguiendo la metodología descrita por Lucas-Merno, la cual consiste en disolver 3.75 g de muestra en 25mL de una solución etanol-agua (70-30 v/v) y llevarla a sonicación en un baño ultrasónico (Elmasonic P D-78224) a una temperatura de 30 °C, durante 30 min con una potencia de 80 Hz; posteriormente, se filtró y se realizaron varios lavados con agua destilada. La suspensión se centrifugó durante 10 min a 3000 rpm a temperatura ambiente. Una vez recuperado el sobrenadante se eliminó el solvente hasta sequedad mediante un rotaevaporador (Figura 2).



Figura 2. Secuencia del proceso de obtención de extractos de hojas (elaboración propia)

Determinación del contenido de polifenoles totales de extractos de hojas frescas y secas

El contenido de polifenoles totales se determinó con el reactivo de Folin-Ciocalteu, se utilizó ácido gálico como patrón de referencia y los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico/g de extracto (mg EAG/g). La determinación se realizó en tubos eppendorf, a los cuales se les adicionaron 600 μ L de agua desionizada, 10 μ L de muestra (2.5 mg/mL), 50 μ L de reactivo de Folin-Ciocalteu, y después se les agregaron 150 μ L de carbonato de sodio al 20%. Las lecturas de absorbancia se tomaron a 760 nm después de la incubación a temperatura ambiente durante 2 h [4].

Determinación del contenido de flavonoides totales de extracto de hojas frescas y secas

El contenido de flavonoides totales se determinó con un método colorimétrico. A las muestras (2.5 mg/mL) se adicionaron 1250 μ L de agua desionizada. Luego se añadió una solución de NaNO_2 al 5% (75 μ L) y la mezcla se dejó a temperatura ambiente. Después de 6 min, se añadió una solución de AlCl_3 al 10% (150 μ L) y la mezcla se dejó reposar durante otros 5 min. Posteriormente, se adicionó NaOH 1 M (500 μ L). La solución se mezcló a fondo y la absorbancia se midió a 510 nm con un espectrofotómetro Cary 60 UV-Vis (Agilent Technologies).

El contenido total de flavonoides se cuantificó usando una curva estándar de quercetina y los resultados se expresaron como mg equivalentes de quercetina/g de extracto (mg EQ/g) [5].

Resultados

Contenido de polifenoles totales (TPC)

En la Tabla 1 se muestran los resultados de polifenoles totales de los diferentes extractos.

Tabla 1. Contenido de polifenoles totales en extractos de hojas de plantas

	Muestra fresca	Muestra seca
TPC (mg EAG/g extracto)		
Acuyo	55.96 $\pm$ 7.53 ^{Ab}	82.31 $\pm$ 5.35 ^{Aa}
Orégano	44.28 $\pm$ 6.83 ^{Bb}	61.90 $\pm$ 2.53 ^{Ba}
Cilantro	38.42 $\pm$ 2.64 ^{Bb}	54.66 $\pm$ 5.97 ^{Ba}

Los valores representan la media de tres determinaciones $\pm$ desviación estándar. Letras mayúsculas diferentes en la misma columna indican valores significativamente diferentes. Letras minúsculas en la misma fila indican valores significativamente diferentes ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey.

Como se observa en la Tabla 1, el extracto que tuvo un mayor contenido de TPC fue el extracto de hojas secas de acuyo, seguido del de orégano y cilantro, los cuales no mostraron diferencia significativa. También se puede observar que los extractos de hojas secas presentaron mayores valores en el contenido de polifenoles que los de las hojas frescas; esto es debido a que al secar las hojas hubo una concentración de los compuestos REF.

Contenido de flavonoides totales (TFC)

En la Tabla 2 se muestran los resultados de flavonoides totales.

Tabla 2. Contenido de flavonoides totales en extractos de hojas de plantas

	Muestra Fresca	Muestra Seca
	TFC (mg EQ/g extracto)	
Acuyo	42.73 $\pm$ 2.16 ^{Bb}	47.73 $\pm$ 1.23 ^{Ca}
Orégano	75.87 $\pm$ 6.14 ^{Aa}	78.33 $\pm$ 3.54 ^{Aa}
Cilantro	43.73 $\pm$ 5.52 ^{Bb}	52.24 $\pm$ 2.38 ^{Ba}

Los valores representan la media de tres determinaciones $\pm$ desviación estándar. Letras mayúsculas diferentes en la misma columna indican valores significativamente diferentes. Letras minúsculas en la misma fila indican valores significativamente diferentes ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey.

Como se observa en la Tabla 2, en los extractos de hojas frescas, el que tuvo un mayor contenido de flavonoides fue el orégano; de igual forma, en las hojas secas el acuyo fue el que presentó un mayor contenido de flavonoides. Al igual que en el contenido de polifenoles, al secar las hojas hubo una concentración de los compuestos.

Tanto en el contenido de polifenoles y flavonoides totales no hubo una pérdida de estos compuestos al someter las hojas al secado, y esto es de suma importancia pues para esta técnica no se puede generalizar, porque, como ustedes mismos dicen, al consumidor llegan en forma de infusiones, donde quizás sí hay pérdidas, ya que a estos compuestos se les atribuyen diversas actividades biológicas a la salud, ya que tienen una gran capacidad antioxidante. Es igual a decir que los beneficios a la salud son responsabilidad de los flavonoides o de los polifenoles.

4. Conclusiones

El extracto que presentó un mayor contenido de polifenoles totales fue el de hojas secas de acuyo, y el que presentó un mayor contenido de flavonoides totales fue el extracto de hojas secas de orégano. No hubo degradación, no hay resultados que demuestren de los polifenoles y flavonoides totales durante el proceso de secado de las hojas; sin embargo, hubo una concentración de dichos compuestos debido a la pérdida de agua durante el secado, lo cual significa que el secado no degrada dichos compuestos y es un buen método de conservación. Todos los téis vienen como hojas secas de plantas de uso medicinal.

5. Referencias

- [1] Echevarría, A. D. Evaluación de la capacidad antioxidante y metabolitos secundarios de extractos de dieciséis plantas medicinales. *Revista Ciencia UNEMI*, pp. 29-35 (2016)
- [2] Arcilla Lozano C. El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, pp. 100-111 (2004)
- [3] Rivas Pérez, B. N. Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en extractos de cuatro especies de orégano. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Zulia*, pp. 134-142 (2017)
- [4] Singleton, V. L., & Rossi, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, pp. 144-158 (1965)
- [5] Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), pp. 555–559 (1999)

Dendrímeros funcionalizados con β -ciclodextrina: una novedosa herramienta para la carga y liberación controlada de fármacos

González Méndez Israel¹*, Sorroza Martínez Kendra Ivón², Rivera García Ernesto²

¹ Centro de Investigaciones Químicas, IICBA, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, C.P. 62209, México.

² Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, CP 04510, México.

* israel.mendez@uaem.mx

Resumen. Los dendrímeros modificados con β -ciclodextrina (β CD) son macromoléculas con una estructura tridimensional ramificada, sintetizados en su gran mayoría utilizando química click. Debido a que son moléculas poliméricas sintéticas que se obtienen con una estructura bien definida, poseen propiedades únicas, tales como monodispersidad, rango de tamaño nanométrico, un gran número de grupos funcionales fácilmente disponibles en la superficie y una capacidad extraordinaria para la encapsulación de moléculas dentro de su entorno hidrófobo, convirtiéndolos en portadores ideales para el suministro dirigido de agentes terapéuticos y de diagnóstico. Debido a estas características, los dendrímeros tienen propiedades fisicoquímicas que los hacen diferentes respecto a los polímeros lineales, por lo que su aplicación es amplia y abarca desde sensores moleculares hasta el acarreamiento de fármacos, que puede ser por formación de conjugados, donde se forma un enlace covalente, o por formación de complejos de inclusión, en donde el fármaco es encapsulado en la β CD y se mantienen unidos por interacciones supramoleculares. Así, en este trabajo se presentan plataformas novedosas tipo poliamidoamina (PAMAM) y con núcleo de fósforo como sistemas prometedores para la carga y liberación controlada de fármacos.

Palabras clave: Dendrímero, Ciclodextrina, Química click, autoensamblaje, supramolecular.

I. Introducción

La nanomedicina se refiere a la aplicación de la nanotecnología al diagnóstico, la prevención y el tratamiento de enfermedades y, en consecuencia, al entendimiento de los procesos fisiopatológicos que intervienen en

el origen y curso de una enfermedad determinada [1]. Algunos de los sistemas con mayor proyección para la nanomedicina son los dendrímeros, los cuales son un tipo de polímero monodisperso con una estructura tridimensional altamente ramificada. Estos contienen tres componentes característicos: a) un núcleo; b) una capa interior (dendrones), compuesta de unidades repetitivas (generaciones), unidas radialmente al núcleo; y c) una periferia (con grupos terminales) unida a la generación más externa (**Figura 1**) [2]. La capacidad de adaptar las propiedades del dendrímero a las necesidades terapéuticas los convierte en portadores ideales de moléculas pequeñas.

Dentro de las áreas que se encargan de optimizar a los dendrímeros destaca la ingeniería de superficie, la cual se encarga de mejorar las propiedades fisicoquímicas de estos, la capacidad para encapsular fármacos, además de permitir la conjugación con ligandos para la unión específica a células diana; entre otras [3].

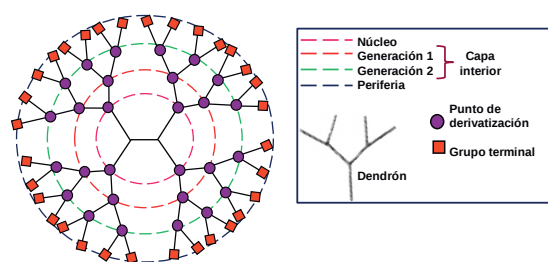


Figura 1. Estructura general de un dendrímero (autoría propia)

Existen varias estrategias para modificar la periferia de los dendrímeros, sin embargo, en los últimos años se ha estudiado el acoplamiento con carbohidratos, particularmente con la β -ciclodextrina (β CD), ya que tiene una estructura tridimensional que se presenta como un cono truncado, con una cavidad hidrofóbica y una superficie hidrofílica. La β CD contiene siete unidades de glucosa, es biocompatible y está aprobada por la FDA (Food and Drug Administration) para usarse como excipiente [4]. Una característica importante de la β CD es que se puede hacer reaccionar, selectivamente, por los grupos hidroxilo primarios, obteniéndose β CDs sumamente versátiles e ideales para acoplarse con los dendrímeros [5, 6]. Por lo que en este trabajo se presentan las estrategias actuales para la modificación química de la superficie de dos tipos de dendrímeros; dos de tipo poliamidoamina (PAMAM) y un dendrímero con núcleo de fósforo tipo ciclotrifosfaceno (P_3N_3). Ya que el enfoque principal de estas moléculas es su uso en sistemas biológicos, es importante utilizar condiciones de síntesis suaves. Una de las estrategias más exitosas para el acoplamiento entre moléculas se denomina química “click” [7, 8]. La química “click” abarca un grupo de reacciones que reúnen las siguientes características: reacciones simples de realizar con obtención de altos rendimientos, tolerantes a una amplia variedad de grupos funcionales, condiciones de reacción simples, altamente selectiva y regioespecífica, en donde el aislamiento del producto final solo requiere de una purificación sencilla. De entre las muchas reacciones ensayadas, el proceso de cicloadición 1,3-dipolar entre azidas y alquinos para obtener triazoles 1,4-disustituidos, se ha establecido como la reacción prototipo dentro de las clasificadas como reacciones “click”.

2. Fundamentos teóricos

Actualmente, uno de los obstáculos más importantes para la industria farmacéutica es el creciente desarrollo de nuevos fármacos que presentan malas propiedades fisicoquímicas; estas características se presentan por diseños

que contienen estructuras con grupos funcionales no polares, lo que genera una baja solubilidad acuosa, o por la creación de moléculas con un peso molecular elevado, lo que desfavorece su biodisponibilidad. De tal forma que más de un 90% de los fármacos en el mercado pertenecen a las clases II y IV del sistema de clasificación biofarmacéutico [9].

Así, la industria farmacéutica busca alternativas novedosas que permitan la mejora del perfil biofarmacéutico de moléculas con potencial efecto terapéutico.

Los sistemas de liberación controlada de fármacos (SLCF) están cambiando el paradigma de la industria farmacéutica tradicional, a través de la administración dirigida y liberación controlada de agentes terapéuticos a células específicas con el fin de minimizar los efectos adversos, reduciendo así la toxicidad en órganos y tejidos no deseados. Una gran variedad de fármacos muy potentes con una baja biodisponibilidad se puede formular en SLCF, lo que permite revelar con esto su eficacia terapéutica real [10]. Los dendrímeros modificados con β CD destacan como sistemas prometedores para la mejora del perfil biofarmacéutico de distintos fármacos, ya que utilizan interacciones supramoleculares para controlar la carga y liberación de agentes terapéuticos. El diseño de estas plataformas se basa en tres puntos principales: a) una síntesis fácil y accesible; b) materiales viables que utilizar como excipientes y adecuados para escalarlos, y c) sistemas estructuralmente simples. Entre los métodos sintéticos novedosos para obtener SLCF destaca la reacción “click” para obtener triazoles 1,4-disustituidos, particularmente en su versión catalizada por cobre (I), el cual puede ser generado *in situ* utilizando sulfato de cobre pentahidratado y ascorbato de sodio en un sistema acuoso. La reacción “click” no se ve afectada por las propiedades estéricas y electrónicas de los grupos vecinos a la azida o al alquino, además, la reacción transcurre en muchos disolventes próticos y apróticos, incluida el agua, y no se ve afectada por la mayoría de los grupos funcionales orgánicos presentes en las materias primas [7]. Por lo que la reacción “click” puede adaptarse para obtener SLCF de tipo dendríticos con naturaleza hidrofílica y propiedades moduladas de transporte de fármacos.

3. Desarrollo del trabajo

3.1 Preparación de los dendrímeros modificados con β CD a través de química “click”

Con base en esta información, se han diseñado y obtenido novedosas plataformas con potencial para el transporte y liberación controlada de fármacos a partir de dendrímeros tipo PAMAM de generación 0 y 1 (PAMAM G0 y G1) sustituidos con 4 y 8 unidades de β CD respectivamente [11, 12]. Además, se preparó un dendrímero con núcleo de fósforo tipo P₃N₃, decorado con 6 unidades de β CD [13]. Las plataformas fueron obtenidas a través de la metodología presentada en la **Figura 2**. La estrategia de obtención consistió en la modificación de la periferia de los dendrímeros PAMAM G0, G1 y P₃N₃ con una fuente adecuada de grupos alquino y, por otra parte, se utilizó a la β CD como fuente de grupo azido, lo cual se logró modificando una posición de la cara primaria de la β CD. Estos intermediarios fueron adecuados para utilizar la estrategia de química “click”. Para purificar las plataformas acarreadoras finales se utilizó cromatografía de exclusión molecular, empleando agua como eluyente, con la cual fue posible remover el cobre y el ascorbato de sodio remanentes. Las plataformas finales se obtuvieron con rendimiento de 98% en todos los casos.

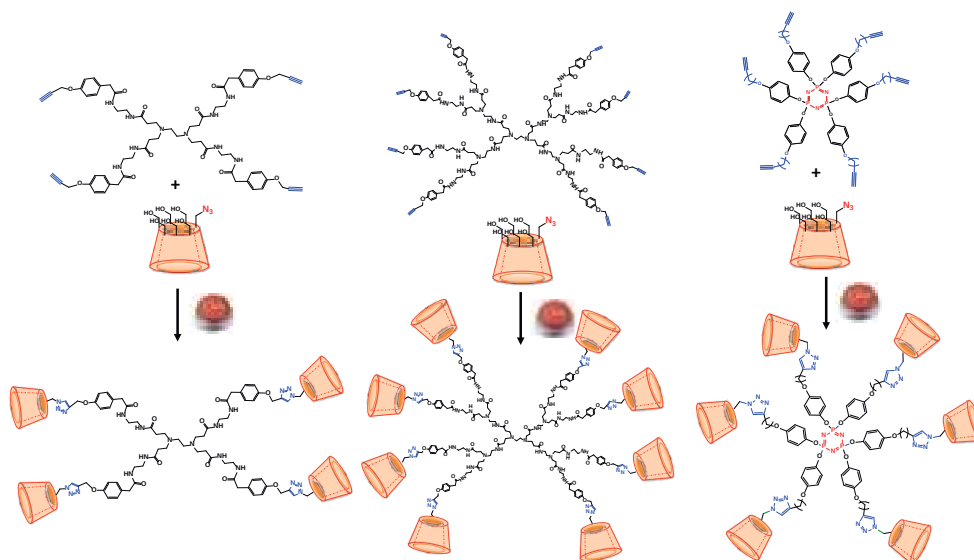


Figura 2. Método de obtención de los dendrímeros modificados con β CD

3.2 Determinación de la solubilidad acuosa de los dendrímeros modificados con β CD

La determinación de la solubilidad de los dendrímeros modificados con β CD se realizó de acuerdo con una adaptación del método propuesto por Jozwiakowski y Connors [14]. Se utilizaron soluciones saturadas de cada compuesto, las cuales se agitaron en un baño a temperatura constante de 25 ± 0.01 °C durante 48 horas. El sólido en exceso de cada ensayo se separó del sobrenadante mediante filtración a través de una membrana Milli-Q (tamaño de poro de $0.45 \mu\text{m}$) por medio de la inyección de cada solución en jeringas de plástico desechables de 3 mL a 25 °C. Después de este proceso, las muestras fueron liofilizadas y el sólido obtenido se pesó en una balanza con una incertidumbre de ± 0.0001 g para cuantificarlo.

En la **Tabla 1** se muestran los resultados en orden decreciente de solubilidad acuosa, tomando como referencia a la 2-hidroxipropil- β CD y la β CD nativa.

Tabla 1. Solubilidad en agua de los dendrímeros modificados con β CD

Molécula	Solubilidad (g/mL)
PAMAM G0- β CD *	> 2.58
P ₃ N ₃ C5- β CD *	> 1
PAMAM G1- β CD *	0.7
2-hidroxipropil- β CD	0.6
β CD	0.0185
* Los datos representan la media $\pm$ S.D. (n=3)	

Con base en estos resultados se puede afirmar que los dendrimeros tipo PAMAM- β CD y P_3N_3 C5- β CD superan significativamente el valor de solubilidad en agua para la β CD nativa (0.0185 g/mL) [15].

Ahora bien, si se comparan los datos de solubilidad de estas novedosas plataformas con el derivado comercial más soluble de β CD como la 2-hidroxipropil- β CD (0.6 g/mL) [15], todos estos nuevos dendrimeros modificados con β CD tienen una mayor solubilidad acuosa y además muestran una ventaja adicional: la capacidad de incluir cuatro, seis y ocho moléculas hidrofóbicas dependiendo del diseño seleccionado, una propiedad que pone a estas plataformas en ventaja con lo reportado actualmente dentro de excipientes solubilizadores de fármacos.

4. Conclusiones

En este trabajo se presentan el diseño y el método de obtención eficiente de tres plataformas dendriméricas funcionalizadas con β CD; al incorporar varias unidades de β CD en la periferia de estos nanoacarreadores, estos presentaron una solubilidad acuosa incrementada comparada con derivados de β CD comerciales. Con estos datos se puede asegurar que el campo de aplicación de esta nueva familia de plataformas puede ampliarse mucho y también podría contemplarse una mayor apreciación de su potencial como nanoportadores de fármacos.

5. Referencias

- [1] B. Flühmann, I. Ntai, G. Borchard, S. Simoens, S. Mühlebach, “Nanomedicines: The magic bullets reaching their target?”, *European Journal Pharmaceutical Sciences*, vol. 128, pp. 73–80, November 2018.
- [2] P. Kesharwani, A. Gothwal, A.K. Iyer, K. Jain, M.K. Chourasia, U. Gupta, “Dendrimer nanohybrid carrier systems: an expanding horizon for targeted drug and gene delivery”, *Drug Discovery Today*, vol. 23, pp. 300–314, July 2017.
- [3] J. Yang, Q. Zhang, H. Chang, Y. Cheng, “Surface-Engineered Dendrimers in Gene Delivery”, *Chemical Reviews*, vol. 115, pp. 5274–5300, May 2015.
- [4] D. Duchêne, A. Bochot, “Thirty years with cyclodextrins”, *International Journal of Pharmaceutics*, Vol. 514, pp. 58–72, November 2016.
- [5] B.J. Roessler, A.U. Bielinska, K. Janczak, I. Lee, J.R. Baker, “Substituted β -Cyclodextrins Interact with PAMAM Dendrimer–DNA Complexes and Modify Transfection Efficiency”, *Biochemical Biophysical Research Communication*, vol. 283, pp. 124–129, April 2001.
- [6] H. Arima, F. Kihara, F. Hirayama, K. Uekama, “Enhancement of gene expression by polyamidoamine dendrimer conjugates with alpha-, beta-, and gamma-cyclodextrins”, *Bioconjugate Chemistry*, vol. 12, pp. 476–484, July 2001.
- [7] H.C. Kolb, M.G. Finn, K.B. Sharpless, “Click Chemistry: Diverse Chemical Function from a Few Good Reactions”, *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 40, pp. 2004–2021, May 2001.
- [8] V.V. Rostovtsev, L.G. Green, V.V. Fokin, K.B. Sharpless, “A Stepwise Huisgen Cycloaddition Process: Copper(I)-Catalyzed Regioselective “Ligation” of Azides and Terminal Alkynes”, *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 41, pp. 2596–2599, July 2002.
- [9] Y. Tsume, D. M. Mudie, P. Langguth, G.E. Amidon, G.L. Amidon, “The Biopharmaceutics Classification System: Subclasses for in vivo predictive dissolution (IPD) methodology and IVIVC”, *European Journal Pharmaceutical Sciences*, vol. 57, pp. 152–163, June 2014.
- [10] Y. Wang, L. Huang, “Chapter Five—Composite Nanoparticles for Gene Delivery”, *Advances in Genetics*, vol. 88, pp. 111–137, November 2014.
- [11] I. González-Méndez, A. Hameau, R. Laurent, C. Bijani, V. Bourdon, A.-M. Caminade, E. Rivera, K.

- Moineau-Chane Ching, “ β -Cyclodextrin PAMAM Dendrimer: How to Overcome the Tumbling Process for Getting Fully Available Host Cavities”, *European Journal of Organic Chemistry*, vol. 9, pp. 1114–1121, March 2020.
- [12] K. Sorroza-Martínez, I. González-Méndez, R.D. Martínez-Serrano, J.D. Solano, A. Ruiú, J. Illescas, X.X. Zhu, E. Rivera, “Efficient modification of PAMAM G1 dendrimer surface with β -cyclodextrin units by CuAAC: impact on the water solubility and cytotoxicity”, *RSC Advances*, vol. 10, pp. 25557–25566, July 2020.
- [13] K. Sorroza-Martínez, I. González-Méndez, M. Vonlanthen, K.I. Moineau-Chane Ching, A.-M. Caminade, J. Illescas, E. Rivera, “First Class of Phosphorus Dendritic Compounds Containing β -Cyclodextrin Units in the Periphery Prepared by CuAAC”, *Molecules*, vol. 25, p. 4034, July 2020.
- [14] M.J. Jozwiakowski, K.A. Connors, “Aqueous solubility behavior of three cyclodextrins”, *Carbohydrate Research*, vol. 143, pp. 51–59, November 1985.
- [15] M.E. Brewster, T. Loftsson, “Cyclodextrins as pharmaceutical solubilizers”, *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 59, pp. 645-666, July 2007.

Uso de fresa y jengibre para la síntesis de nanomateriales antimicrobianos

Jiménez Muñoz-Brenda Itzel¹, López Amador-Alejandro², Guerra Balcázar-Minerva³, Álvarez-Contreras-Lorena⁴, Arjona-Noé², España Sánchez-Beatriz Liliana^{2*}

¹ Universidad Tecnológica de Tulancingo. Av. Ahuehuetitla 301, Reforma la Presa, 43642 Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.

² Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica CIDETEQ SC., Parque Tecnológico Querétaro s/n Sanfandila, Pedro Escobedo Querétaro, C.P. 76703, México.

³ División de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro. C.P. 76010, Santiago de Querétaro, México.

⁴ Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. Complejo Industrial Chihuahua, C.P. 31136, Chihuahua, México.

lespana@cideteq.mx

Resumen: En este proyecto, se llevó a cabo una síntesis innovadora de puntos cuánticos de carbono utilizando fresa y jengibre como precursores. Estos puntos cuánticos de carbono se exploraron posteriormente por sus propiedades antibacterianas.

En los ensayos antibacterianos realizados con los puntos cuánticos de carbono obtenidos, se demostró una notable actividad antibacteriana, la cual se dirigió específicamente contra la bacteria *S. aureus*, un patógeno común que puede causar infecciones en los seres humanos. Los resultados de los ensayos fueron sorprendentes, ya que se logró una efectividad del 99.9% en la inhibición del crecimiento bacteriano.

Palabras clave: Puntos cuánticos de carbono, antibacterianos, fuentes naturales.

1. Introducción

En la constante lucha contra la amenaza de los microorganismos resistentes a los antibióticos, la ciencia y la tecnología han dirigido su atención hacia soluciones innovadoras y prometedoras [1], [2]. En este contexto, los nanomateriales (materiales del tamaño de unas mil millonésimas de un metro) con propiedades antibacterianas (capaces de eliminar las bacterias) han emergido como un avance en la búsqueda de alternativas efectivas para combatir estas resistencias. El desarrollo en la nanotecnología ha permitido la manipulación precisa de la

materia a una escala nanométrica, revelando propiedades y comportamientos únicos que podrían revolucionar nuestra estrategia para afrontar el crecimiento de infecciones intratables [3].

Los microorganismos resistentes a los antibióticos constituyen una grave preocupación de salud global, ya que desafían directamente nuestra capacidad para tratar enfermedades infecciosas comunes [4]. Los antibióticos tradicionales, que alguna vez fueron la línea de defensa principal contra estas infecciones, han perdido su eficacia debido a la adaptación evolutiva de los microorganismos. Esta evolución se ha visto impulsada por el uso indebido y excesivo de antibióticos en la medicina humana y animal, así como en la agricultura [5].

En medio de esta crisis, los nanomateriales han surgido como una esperanza prometedora. Estas diminutas estructuras, con dimensiones que oscilan entre uno y cien nanómetros, exhiben propiedades físicas, químicas y biológicas únicas debido a su tamaño y su alta relación superficie-volumen. Esta particularidad les otorga la capacidad de interactuar con los microorganismos a niveles que antes eran inaccesibles. Específicamente, los nanomateriales con propiedades antibacterianas han demostrado la capacidad de perforar membranas celulares, interferir con procesos metabólicos cruciales y generar especies reactivas de oxígeno que atacan las células bacterianas [6].

En este contexto, los puntos cuánticos de carbono (CQDs) derivados de fuentes naturales han llamado la atención de los investigadores. Los CQDs son diminutas partículas esféricas compuestas principalmente de carbono y otros elementos presentes en la naturaleza (como nitrógeno y oxígeno), los cuales muestran prometedoras propiedades antibacterianas [7]. Además, su origen natural plantea la posibilidad de una alternativa sostenible y menos intrusiva para abordar la resistencia bacteriana.

En este artículo se explorará a detalle cómo los puntos cuánticos de carbono generados a partir de fuentes naturales podrían revolucionar nuestra lucha contra las infecciones resistentes a los antibióticos y ofrecer un nuevo horizonte de posibilidades en la batalla continua por la salud humana.

2. Fundamentos teóricos

2.1 Puntos cuánticos de carbono

Los puntos cuánticos de carbono son nanoestructuras de morfología esférica cuyo tamaño se encuentra entre los 2 y 10 nanómetros. Estos nanomateriales poseen propiedades tales como emisión de luz, compatibilidad con el organismo, baja toxicidad, entre otras.

2.2 Síntesis de puntos cuánticos de carbono a partir de fuentes naturales

Un enfoque novedoso en esta investigación involucra la síntesis de CQDs mediante métodos de síntesis verde como el método hidrotermal, el cual consiste en aplicar presión y temperatura en un reactor hidrotermal para generar estas nanopartículas, utilizando fuentes naturales, en este caso, fresa y jengibre. Estos precursores naturales no solo aportan compuestos ricos en carbono, sino que también contienen diversos grupos funcionales en su estructura que son grupos específicos de átomos responsables de las **reacciones y propiedades características de una molécula**. Para entender qué son los grupos funcionales se sigue esta analogía: imagina que los átomos de carbono son como los ladrillos con los que construyes una casa. Cada ladrillo (átomo de carbono) puede unirse a otros ladrillos de diferentes maneras para formar una gran variedad de estructuras, al igual que los átomos de carbono pueden unirse para crear una amplia gama de compuestos químicos. Ahora, aquí es donde entran en juego los grupos funcionales. Los grupos funcionales son como los “decorativos” o las características especiales que puedes agregar a tu casa para darle diferentes funciones o propósitos. Estos grupos funcionales son esenciales, ya que permiten la incorporación controlada de heteroátomos en la superficie de los CQDs, otorgándoles propiedades ópticas, mecánicas y antibacterianas [8]. La combinación de fresa y

jengibre como precursores en la síntesis de CQDs ofrece un enfoque innovador en la búsqueda de agentes antibacterianos. Los grupos funcionales y compuestos bioactivos presentes en ambos precursores desempeñan un papel crucial en la generación de puntos cuánticos con propiedades antibacterianas altamente efectivas [9].

2.3 Heteroátomos en CQDs: potenciando la acción antibacteriana

Los heteroátomos son cualquier elemento excepto el carbono y el hidrógeno. La introducción de heteroátomos en la superficie de los CQDs es un aspecto crítico de esta investigación. Estos átomos adicionales, como el nitrógeno o el oxígeno, modifican las propiedades electrónicas y químicas de los CQDs, lo que puede influir en su capacidad para interactuar con las bacterias. La modificación controlada de la superficie de los puntos cuánticos con heteroátomos puede aumentar su afinidad por las células bacterianas y mejorar su capacidad para interferir con los procesos vitales de las bacterias patógenas. [10]. En la Figura 1 se representan los distintos tipos de grupos funcionales.



Figura 1. Representación de los grupos funcionales. Fuente: <https://theory.labster.com/es/functional-groups-overview/>

2.4 Evaluación de actividad antibacteriana

Para evaluar la efectividad de los CQDs derivados de fuentes naturales como agentes antibacterianos, se realizaron pruebas mediante el método de microdilución seriada, el cual de manera general consiste en poner a diferentes tiempos de contacto la bacteria y las nanopartículas, usando como modelo la bacteria *Staphylococcus aureus*. Dicha bacteria es una de las principales causantes de enfermedades infecciosas a nivel mundial [1].

Se puede encontrar comúnmente en las mucosas y en la piel de personas sanas, pero también puede causar una amplia variedad de infecciones cuando ingresa al cuerpo a través de heridas o áreas de piel dañada [11]. Puede causar infecciones leves, como espinillas y forúnculos, pero también infecciones más graves y potencialmente mortales, como infecciones cutáneas, de heridas, respiratorias, en el torrente sanguíneo, óseas, articulares y en el corazón [5]. Algunas cepas de *S. aureus* son resistentes a múltiples antibióticos, lo que aumenta el riesgo de infecciones graves y dificulta su tratamiento [12], [13].

3. Desarrollo del trabajo

La síntesis de CQDs consistió en una mezcla de 5 g de fresa y 5 g de jengibre, utilizando agua como solvente; dicha solución se introdujo a un reactor hidrotermal a 200 °C durante 6 horas, se dejó enfriar a temperatura ambiente para después purificar la solución de CQDs mediante filtrados y centrifugación. En la Figura 2 se ejemplifica la síntesis de los CQDs, mostrando también la fluorescencia de los CQDs de color azul cuando se les aplica luz ultravioleta.

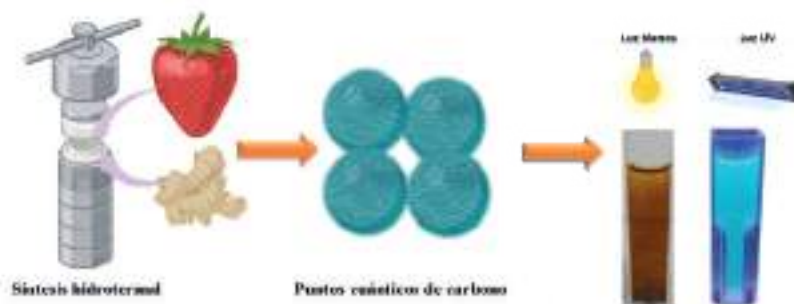


Figura 2. Síntesis de CQDs y su fluorescencia. Fuente: autoría propia, esquemas realizados en Biorender.com

En la Figura 3a se observan las micrografías de los CQDs, los cuales presentan una forma esférica con tamaños que rondan entre 10 y 15 nm; en la imagen 3b se representa el espectro DRX, el cual permite confirmar la producción de nanopartículas de carbono, evidenciado por los dos picos que se observan en el espectro. Finalmente, la Figura 3c muestra el espectro FTIR, que ofrece información acerca de los grupos funcionales presentes en los CQDs; en este caso, se identifican grupos carbonilos y nitrilos que provienen de los materiales utilizados en la síntesis.

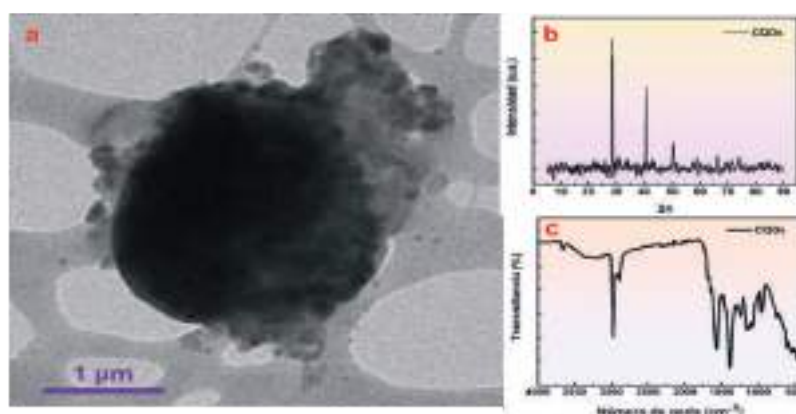


Figura 3. Caracterización TEM, DRX y FTIR de los CQDs

Las pruebas antibacterianas se realizaron con dos concentraciones de CQDs, unas altas (1:1) y una baja (1:5). A continuación, se muestran los resultados de las pruebas antibacterianas en donde los CQDs mostraron un

99% de efectividad al impedir el crecimiento de la bacteria *S. aureus*, tanto para la dilución alta como para la dilución baja.

Esta efectividad se atribuye principalmente a los heteroátomos de oxígeno y nitrógeno que donaron la fresa y el jengibre; el mecanismo que utilizan los CQDs para eliminar las bacterias consta de un daño en la estructura de la membrana, lo cual impide que la bacteria pueda sobrevivir. A continuación, en la Figura 4. se muestran los cultivos con *S. aureus* con contacto de los CQDs obtenidos.

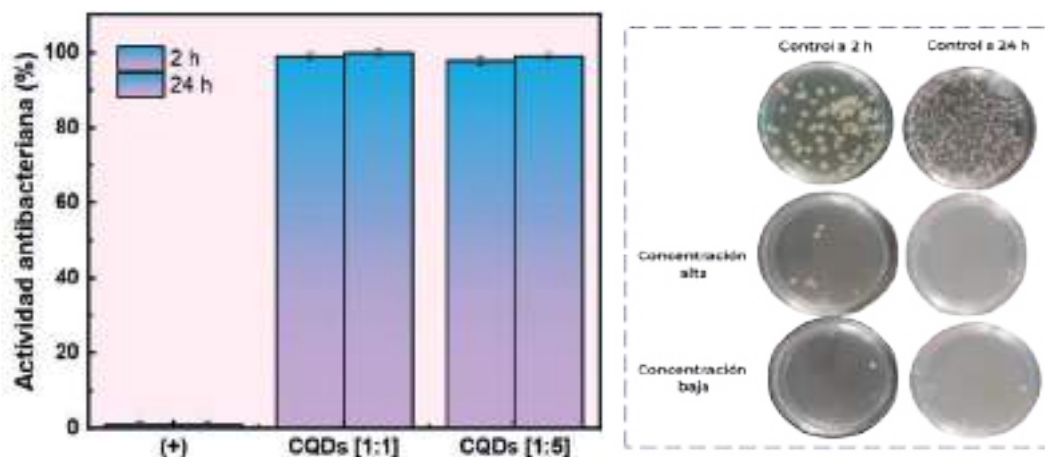


Figura 4. Actividad antibacteriana de los CQDs

4. Conclusiones

La utilización de fresa y jengibre como precursores en la síntesis de puntos cuánticos de carbono abre nuevas perspectivas en el desarrollo de agentes antibacterianos naturales de bajo costo y de fácil obtención. La alta actividad antibacteriana observada en los ensayos resalta el potencial de estos puntos cuánticos como una alternativa prometedora a los agentes antibacterianos convencionales. Además, la síntesis de puntos cuánticos de carbono a partir de fuentes naturales tiene ventajas en términos de biocompatibilidad y seguridad, lo que podría minimizar posibles efectos secundarios adversos. Esta aproximación también contribuye a la reducción de productos químicos sintéticos y promueve la utilización de recursos renovables en la investigación científica y el desarrollo de aplicaciones médicas.

5. Referencias

- [1] H. Boucher, L. G. Miller, and R. R. Razonable, "Serious Infections Caused by Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*," *Clinical Infectious Diseases*, vol. 51, no. Supplement_2, pp. S183–S197, Sep. 2010, doi: 10.1086/653519.
- [2] C. I. Russell AD, "Understanding Antibacterial Action and Resistance."
- [3] G. M. Rossolini and E. Mantengoli, "Treatment and control of severe infections caused by multiresistant *Pseudomonas aeruginosa*," *Clinical Microbiology and Infection*, vol. 11, no. 4, pp. 17–32, 2005, doi: 10.1111/J.1469-0691.2005.01161.X.

- [4] K. S. Kaye and J. M. Pogue, "Infections Caused by Resistant Gram-Negative Bacteria: Epidemiology and Management," *Pharmacotherapy: The Journal of Human Pharmacology and Drug Therapy*, vol. 35, no. 10, pp. 949–962, Oct. 2015, doi: 10.1002/PHAR.1636.
- [5] S. Roberts and S. Chambers, "Diagnosis and management of Staphylococcus aureus infections of the skin and soft tissue," *Intern Med J*, vol. 35, no. SUPPL. 2, Dec. 2005, doi: 10.1111/j.1444-0903.2005.00983.x.
- [6] P. Devi, S. Saini, and K. H. Kim, "The advanced role of carbon quantum dots in nanomedical applications," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 141. Elsevier Ltd, Sep. 15, 2019. doi: 10.1016/j.bios.2019.02.059.
- [7] M. Ghirardello, J. Ramos-Soriano, and M. C. Galan, "Carbon dots as an emergent class of antimicrobial agents," *Nanomaterials*, vol. 11, no. 8. MDPI AG, Aug. 01, 2021. doi: 10.3390/nano11081877
- [8] N. A. Travlou, D. A. Giannakoudakis, M. Algarra, A. M. Labella, E. Rodríguez-Castellón, and T. J. Badosz, "S- and N-doped carbon quantum dots: Surface chemistry dependent antibacterial activity," *Carbon N Y*, vol. 135, pp. 104–111, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.carbon.2018.04.018.
- [9] S. A. Shaik, S. Sengupta, R. S. Varma, M. B. Gawande, and A. Goswami, "Syntheses of N-Doped Carbon Quantum Dots (NCQDs) from Bioderived Precursors: A Timely Update," *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, vol. 9, no. 1. American Chemical Society, pp. 3–49, Jan. 11, 2021. doi: 10.1021/acssuschemeng.0c04727.
- [10] S. D. Dsouza *et al.*, "The importance of surface states in N-doped carbon quantum dots," *Carbon N Y*, vol. 183, pp. 1–11, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.carbon.2021.06.088.
- [11] C. Rayner and W. J. Munckhof, "Antibiotics currently used in the treatment of infections caused by Staphylococcus aureus," *Intern Med J*, vol. 35 Suppl 2, no. SUPPL. 2, pp. S3-16, Dec. 2005, doi: 10.1111/J.1444-0903.2005.00976.X.
- [12] P. Bernard, V. Jarlier, and A. Santerre-Henriksen, "Sensibilité aux antibiotiques des souches de Staphylococcus aureus responsables d'infections cutanées communautaires," *Ann Dermatol Vénereol*, vol. 135, no. 1, pp. 13–19, Jan. 2008, doi: 10.1016/j.annder.2007.06.004.
- [13] D. M. Elston, "Methicillin-Sensitive and Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus: Management Principles and Selection of Antibiotic Therapy," *Dermatol Clin*, vol. 25, no. 2, pp. 157–164, Apr. 2007, doi: 10.1016/j.det.2007.01.007.

INGENIERÍA Y SOCIEDAD

Modelo de simulación de una biblioteca para la optimización en su proceso de servicio

Granados Rosales Diego¹, Pineda Vilchis Juan¹, De Jesús Perea Uriel¹, Contreras Ruiz Juan Carlos¹

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, Departamento de Ingeniería Industrial, Metepec, Estado de México, México.
jcontrerasr1@toluca.tecnm.mx

Resumen. La simulación es una herramienta que aplicada de manera correcta permite mejorar los procesos y tomar decisiones más acertadas, permitiendo experimentar con varios escenarios, estableciendo así el impacto que estos tienen en los resultados de la simulación, todo esto a un costo y un tiempo menor comparado con llevarlo a cabo en la realidad. En el trabajo presentado se expone el desarrollo de un modelo de simulación para el Centro de Información del Instituto Tecnológico de Toluca, el cual funciona como una biblioteca, con el fin de establecer mejores estrategias para el manejo eficiente de los recursos bibliográficos destinados a este departamento. Los resultados de simulación obtenidos permiten determinar que el uso del centro de información no tiene relación directa con la cantidad de alumnos matriculados en cada una de las carreras.

Palabras clave: Modelo, simulación, sistema.

1. Introducción

El desarrollo en el área de la computación de las últimas décadas ha traído consigo innovaciones relevantes en el campo de la toma de decisiones, en el diseño de productos y procesos. Una metodología para realizar estudios a escala piloto, con resultados rápidos y en la mayoría de las ocasiones a bajos costos, se basa en la simulación, la cual se ha enriquecido de los avances en este ámbito. Esta técnica actualmente tiene un gran campo de aplicación, desde sistemas de manufactura, administración de inventarios, servicios, gestión de la cadena de suministro, capacitación, finanzas, etc. [1, 2], llegando a evolucionar en la actualidad a lo que se conoce como gemelo digital, el cual es la representación virtual de un sistema que se actualiza en tiempo real [3, 4].

Todos estos avances han convertido a la simulación en un instrumento fundamental para la toma de decisiones en el entorno global y competitivo de estos tiempos. Actualmente, se cuenta con una basta cantidad de software de simulación, lo cual impulsa aún más la aplicación de esta importante herramienta de la ingeniería [5].

2. Fundamentos teóricos

Una simulación busca ser la mejor aproximación a la realidad, la cual podemos trasladar al entorno virtual mediante la construcción de un modelo de simulación que puede ser utilizado como una herramienta para, primero, comprender y analizar procesos y, posteriormente, mejorar las condiciones de operación relevantes de dichos procesos [6].

Para desarrollar un modelo de simulación partimos de la observación acotada de la realidad, identificando así un sistema. Un sistema lo podemos entender como un conjunto de elementos que se relacionan entre sí para funcionar como un todo; desde la perspectiva de la simulación estos elementos deben estar delimitados claramente. De ahí que establezcamos a los elementos de simulación como entidades, estado del sistema, eventos actuales y futuros, localizaciones, recursos, atributos, variables y parámetros [7], elementos de los cuales es necesario extraer información suficiente mediante el muestreo en campo o el análisis de datos históricos.

A fin de lograr la mejor aproximación entre la realidad y una simulación, es necesario que el modelo de simulación se componga con base en variables aleatorias que interactúen entre sí, reflejando de esta manera la incertidumbre que sucede en la realidad en el modelo de simulación construido [6].

Bajo este contexto, una distribución de probabilidad es una función matemática que asigna a cada suceso definido sobre la variable la probabilidad de que dicho suceso ocurra, apoyándose para ello en los números aleatorios [7].

3. Desarrollo del trabajo

El modelo de simulación desarrollado se realizó con motivo del proyecto de la asignatura de Simulación de la carrera de Ingeniería Industrial, y se eligió el Centro de Información del Instituto Tecnológico de Toluca (biblioteca). Las razones por las que se eligió este sistema para simular son, primero, porque este sistema es ampliamente comprensible en su funcionamiento y en su dinámica por parte de los desarrolladores de esta investigación; segundo, porque en la realidad se percibe ineficacia en algunas áreas de servicio de este departamento; y tercero, porque los resultados del modelo de simulación pueden ser eventualmente llevados a la práctica para optimizar el uso de los recursos bibliográficos en este departamento. El procedimiento que se siguió para la obtención de este modelo de simulación se presenta en la Figura 1.



Figura 1. Metodología para el desarrollo del modelo de simulación del Centro de Información

Primeramente, fue necesario recabar información mediante un muestreo en campo y recopilación de datos históricos por aproximadamente 3 meses acerca de los diferentes elementos que conforman este sistema. Se consideraron en total 12 locaciones (ubicaciones físicas en la biblioteca), para lo cual fue necesario recabar datos referentes a la frecuencia de llegada de alumnos a esas locaciones, tiempo de permanencia, disponibilidad y capacidad de dichas locaciones, entre otros. Asimismo, se recabó información sobre 9 entidades (elementos que fluyen dentro del sistema), las cuales se asocian a los alumnos de las distintas carreras que se imparten en la institución educativa en donde se realiza este estudio. También se consideraron otros elementos, tales como el personal administrativo y personal auxiliar, los cuales fueron definidos como recursos (elementos que tienen una función específica sobre las entidades en el sistema).



Figura 2. Modelo de Simulación del Centro de Información desarrollado en ProModel®

Una vez recopilada toda la información se procedió al ajuste de los datos a distribuciones probabilísticas utilizando herramientas y software estadístico.

El siguiente paso corresponde propiamente a la construcción del modelo de simulación, para la cual se utilizó el software de simulación ProModel® (Figura 2).

Una vez obtenido el modelo, se decidió correrlo de manera preliminar por un mes con 5 réplicas (corridas o repeticiones), con el fin de establecer los parámetros de corrida definitiva que validaran estadísticamente este modelo de simulación. A partir de estos resultados preliminares, se decidió validar el modelo estadísticamente con un nivel de confianza del 95%, obteniendo un número definitivo de 17 corridas. Cabe hacer mención que este nivel de confianza se establece con base en la exactitud con la que se requieren los resultados de simulación, lo cual implicó obtener resultados de simulación con un 95% de probabilidad de ser certeros dentro de los límites inferior y superior proporcionados por este software; un mayor nivel de confianza involucra un mayor número de corridas, lo cual se traduce en un mayor tiempo de procesamiento computacional, por lo cual una mayor exactitud no se considera significativa para este estudio.

Después de correr el modelo de simulación en el software por 17 repeticiones, los resultados más relevantes obtenidos son los que se presentan en la Figura 3.

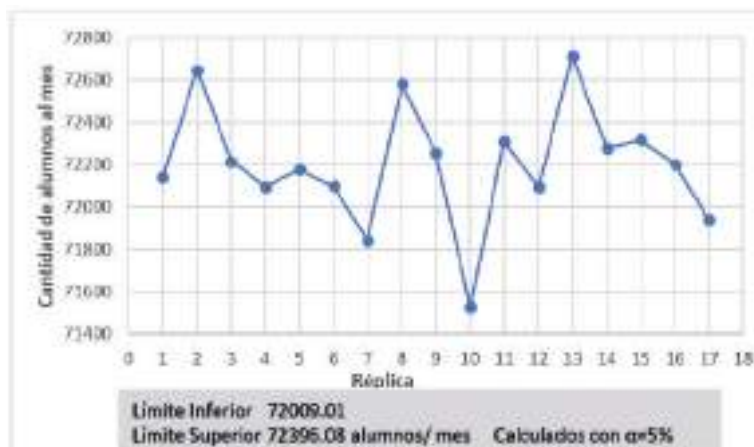


Figura 3. Número de alumnos en el sistema por réplica de simulación

Luego de correr el modelo de simulación por 17 ocasiones, tenemos un total de alumnos promedio en el sistema de 72 203 alumnos por mes, así como un tiempo promedio total en la biblioteca de 2.08 horas por alumno. Como puede notarse en los resultados obtenidos, la diferencia entre los valores de las réplicas de simulación es relativamente pequeña, lo cual nos confirma la validez del modelo de simulación.

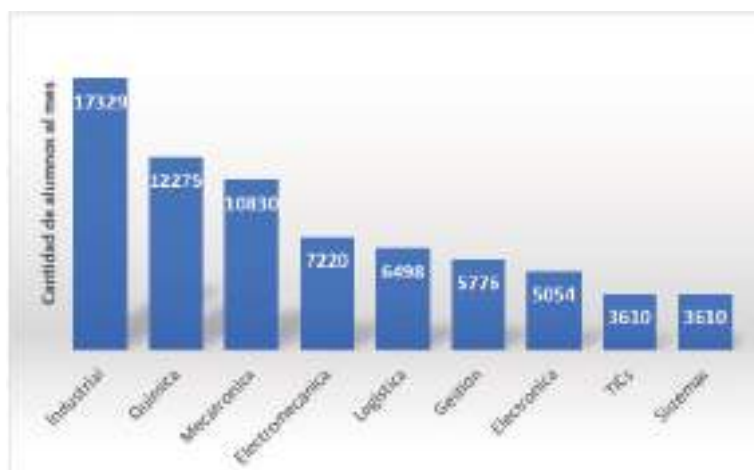


Figura 4. Promedio de alumnos al mes por carrera en el Centro de Información

Resulta relevante analizar cuántos alumnos por carrera en promedio hacen uso de la biblioteca obteniendo los resultados promedios de las 17 réplicas que se presentan en la Figura 4.

La carrera con mayor presencia en la biblioteca es Ingeniería Industrial, con un total de 17 329 alumnos mensualmente, mientras que las carreras con menor presencia son Ingeniería en Sistemas y Tics, con 3610 alumnos.

Estos resultados no encuentran relación proporcional directa con la matrícula de las diferentes carreras, por lo que nos pueden dar una pauta para tomar mejores decisiones respecto a una distribución más eficiente de los recursos materiales y humanos que se tienen disponibles para este departamento del Instituto Tecnológico de Toluca, en función del uso que le dan las diferentes carreras y no solamente basados en la matrícula nominal de alumnos que se tiene en cada una de ellas.

4. Conclusiones

La simulación es una herramienta de la ingeniería que apoya una toma de decisiones mejor fundamentada con base en el comportamiento estadístico de las variables involucradas en un sistema. El modelo de simulación desarrollado demuestra ser consistente estadísticamente con un 95% de confianza, donde encontramos que el uso del Centro de Información (biblioteca) por parte de la plantilla estudiantil no guarda relación proporcional con el número de alumnos matriculados en las distintas carreras. Dichos resultados de simulación se pueden considerar como base para el establecimiento de estrategias eficientes en cuanto a la asignación de los recursos bibliográficos y materiales disponibles en el Centro de Información para cada una de las carreras.

Asimismo, este modelo de simulación puede ser empleado para evaluar el comportamiento del sistema ante los distintos cambios en la cantidad de matrícula de alumnos por la inscripción y el egreso de alumnos en las diferentes carreras que suceden en el transcurso del tiempo, con la ventaja de lograr resultados confiables en tan solo algunos minutos de procesamiento computacional.

De esta manera, la utilización de esta herramienta en la práctica podría dar evidencia suficiente para tomar decisiones mejor fundamentadas y que de cierta forma se anticipen al futuro, logrando con ello un manejo más efectivo de los recursos empleados para el Centro de Información.

Sin embargo, para que el modelo de simulación siga siendo robusto y sus resultados sigan siendo aplicables a la realidad, es necesario que el modelo mantenga una retroalimentación continua de datos recientes de la realidad, para de esta manera mantener una mejor aproximación entre la realidad y el sistema simulado.

5. Referencias

- [1] U. Strauss: Using a Business Simulation to Develop Key Skills—the MERKIS Experience-, Industrial and Commercial Training, vol. 38, n° 4, pp. 213-216 (2006).
- [2] Y. Kozachenko, O. Pogorilyak, I. Razora, A. Tegza: Simulation of Stochastic Processes with Given Accuracy and Reliability, Elsevier, (2016).
- [3] M. Soori, B. Arezoo y R. Dastres: Digital twin for smart manufacturing, A review, Sustainable Manufacturing and Service Economics, vol. 2, n° 100017, pp. 1-15, (2023).
- [4] E. Yildiz, C. Møller y A. Bilberg: Demonstration and evaluation of a digital twin-based virtual factory, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 114, pp. 185-203, (2021).
- [5] S. M. Ross: Simulation, 6 ed., Elsevier Academic Press, 2022.
- [6] A. Law: Simulation Modeling and Analysis, Tucson, Arizona: McGraw Hill (2015).
- [7] S. Robinson: Simulation, The Practice of Model Development and Use, Chichester, United Kingdom: Wiley (2004).
- [8] R. Mahanti y J. Antony: Confluence of Six Sigma, Simulation and Software Development, Managerial Auditing Journal, vol. 20, n° 7, pp. 739-762 (2005).

La importancia de las operaciones unitarias en la vida cotidiana: Filtración, una fuente de vida

Gómez Espinoza Juan Jesús^{*}, García Rivas José Luis¹, Silva de Hoyos Luisa Elena¹, Argueta Figueroa Liliana¹, Abundez Itzel María¹, Torres Gómez Nayely^{*}

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de México, México.

nayely.tg@toluca.tecnm.mx; MM22281239@toluca.tecnm.mx

Resumen. Actualmente, las operaciones unitarias suelen estar presentes en la mayor parte de la vida del ser humano. La filtración es una de las más comunes, la cual consiste en hacer pasar un fluido (líquido o gas) con partículas suspendidas (sólido) en un medio filtrante, el cual se encarga de retener los sólidos en sus intersticios y así conseguir un fluido claro; los ejemplos más comunes donde se puede encontrar esta operación es en el automóvil: al cargar gasolina, los vehículos cuentan con un tanque de almacenamiento de combustible, el cual tiene una pequeña reja que impide que algún contaminante grueso como hojas, piedras o basura entre al depósito de combustible; lo mismo pasa al consumir agua, algún medicamento e incluso alimentos; los riñones son el filtro más importante en el organismo y son vitales para llevar una vida saludable, ya que son los encargados de eliminar las toxinas del cuerpo, manteniendo en equilibrio las sales y minerales. En este trabajo se presenta una comparativa entre las operaciones unitarias y la vida cotidiana.

Palabras clave: Filtración, separación, medio filtrante, riñón, salud.

I. Introducción

Las operaciones unitarias (OPU) suelen estar presentes en la vida del ser humano, y lo ayudan a realizar sus actividades diarias, desde calentar el agua en un boiler o calentador solar (transferencia de calor) para bañarse, en el lavado de ropa (mezclado y agitación de detergente), preparación de alimentos (reducción de tamaño, cocción, secado), al desplazarse a sus lugares de trabajo y hogares en un vehículo (filtración, bombeo de combustible).

Incluso en el mismo cuerpo se presentan algunas operaciones unitarias, como en el bombeo de sangre que realiza el corazón, la absorción de los nutrientes presentes en los alimentos o medicamentos que consuma una

persona, y sobre todo la filtración; el órgano que realiza esta operación es el riñón, el encargado de filtrar la sangre que transita a través del cuerpo.

2. Fundamentos teóricos

Las OPU son empleadas para hacer de forma más fácil la preparación de materia prima, separación y purificación de productos (McCabe et al., 2002); son una secuencia básica de un proceso que implica un cambio físico o químico, involucran una separación de componentes o una mezcla de materia entre fases (Foust et al., 1987), como sucede en la filtración, la cual es la operación unitaria que tiene como objetivo separar partículas sólidas que estén presentes en un fluido (ya sea líquido o gas); consiste en hacer pasar un fluido a través de un medio filtrante, el cual puede ser una membrana o un material poroso, donde se deposita el sólido que se desea separar (Geankoplis, 1998). Un buen material filtrante debe contar con porosidad, debe tener una resistencia al arrastre por el fluido, debe resistir el desgaste mecánico, debe ser fácil de limpiar y de bajo costo (Perry et al., 2001).

3. Desarrollo del trabajo

Las OPU, como ya se ha mencionado, pueden ser encontradas en una gran variedad de procesos, como en la industria alimentaria: en la elaboración de zumos, por ejemplo, se pueden encontrar operaciones como el bombeo de agua, operaciones de transferencia de calor para realizar una pasteurización, e incluso la filtración al separar la pulpa proveniente de las frutas y del jugo.

Otro ejemplo de donde se pueden encontrar las OPU es en una planta tratadora de aguas residuales, desde la recepción de las aguas negras, las cuales suelen traer sólidos grandes como llantas, ramas de árboles y basura como plásticos; para que una planta tratadora pueda realizar su función, es necesario que se alimente a la planta tratadora con la mayor cantidad de agua con sólidos suspendidos pequeños; por eso, lo fundamental es hacer un cribado en el que se separan sólidos; posteriormente pasan a un proceso de desarenado donde se deja sedimentar la tierra que pueda traer el efluente por tratar; posteriormente pasan a un proceso biológico donde se degrada la materia orgánica, el agua proveniente del proceso biológico, se le realizan procesos de floculación y coagulación, y en caso de ser necesario se les puede dar un tratamiento terciario para la eliminación de contaminantes pesados como metales y colorantes; para hacer la remoción de estos contaminantes se suelen emplear filtros de carbón activado, como los que aparecen en la Figura 1, los cuales se encargan de separar los colorantes, y en el caso de los metales se suele realizar la filtración por ósmosis inversas, y así generar un agua limpia de contaminantes y sin sólidos suspendidos.



Figura 1. Filtros de carbón activado con los que cuenta la planta tratadora de aguas residuales del Instituto Tecnológico de Toluca

Otra aplicación de las OPU que es fácil de encontrar es en el hogar, y un ejemplo muy común donde se puede apreciar la importancia de las OPU en la vida cotidiana es en los filtros de agua en los hogares (Figura 2): para obtener un agua limpia libre de tierra y de materia gruesa, que pueda provenir de la tubería de suministro hacia las casas, el filtro se suele colocar en los tinacos de almacenamiento, el cual se encarga de hacer la distribución del líquido vital en el hogar, y así poder emplearlo para el lavado de ropa, para uso sanitario, lavar los alimentos que consumimos, incluso los trastes, y regar las plantas. Si este filtro no estuviera presente en la instalación del sistema de agua, la calidad de esta no sería adecuada y eso nos podría ocasionar problemas a la salud.



Figura 2. Filtro para agua de grifo

Y hablando de la salud, en el cuerpo humano también es posible encontrar operaciones unitarias. El sistema circulatorio tiene como objetivo hacer la distribución de la sangre hacia todo el cuerpo; el corazón se encarga de bombear la sangre a través de las venas, las cuales permiten transportar la sangre a los diferentes órganos; la sangre que recorre todo el organismo se encarga de recolectar los lípidos, minerales y sales que se encuentren en exceso y los lleva a un proceso de filtrado; los encargados de realizar esta operación son los riñones.

Los riñones son un órgano vital para los seres vivos; su función principal es mantener el equilibrio de agua y minerales en el organismo, además de que se encargan de realizar la filtración de la sangre en sus intersticios. En la Figura 3 se puede ver cómo se introduce la sangre sin filtrar al riñón y su salida de distribución. El riñón

tiene una morfología parecida a un frijol, llega a tener el tamaño de un puño (12 cm de altura) y puede pesar alrededor de 150 g (Riella & Martins, 2003).

Los riñones se ubican debajo de las costillas, uno a cada lado de la columna vertebral. Un riñón sano puede llegar a filtrar media taza de sangre por minuto (NIH) y es el encargado de retener aquellas sustancias que entran al organismo, como el agua, el azúcar y sales que se consumen, ya sea por alimento, beber agua o tomar algún medicamento; posteriormente, se retira el excedente de estas sustancias en el organismo mediante la orina.



Figura 3. Esquema de un riñón

4. Conclusiones

Las OPU se encuentran presentes en casi todos lados, como ya se ha visto en este trabajo. En resumen, la importancia de la filtración se extiende a múltiples aspectos de nuestra vida, desde la industria hasta la vida cotidiana y el funcionamiento mismo de nuestro cuerpo. En la industria, la filtración es esencial para la purificación de productos químicos, la separación de sólidos y líquidos, y la mejora de la calidad del agua, contribuyendo a procesos más seguros y sostenibles. En la vida cotidiana, los sistemas de filtración nos brindan agua potable más limpia y segura, mejoran la calidad del aire que respiramos y son clave en la fabricación de alimentos y productos farmacéuticos. En el cuerpo humano, los riñones desempeñan un papel vital al filtrar desechos y mantener el equilibrio en nuestra sangre. En conjunto, la filtración es un proceso esencial que no solo mejora la calidad de vida, sino que también garantiza un entorno más limpio y saludable, tanto a nivel industrial como en nuestra experiencia diaria y en nuestra propia salud.

5. Referencias

- [1] Foust, A. S., Wenzel, L. A., Clump, C. W., Maus, L., & Andersen, L. B. (1987). Principios de operaciones unitarias. Compañía Editorial Continental, CECSA.
- [2] Geankoplis, C. J. (1998). Proceso de transporte y operaciones unitarias.
- [3] McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriott, P., & Lanto Arriola, M. A. (2002). Operaciones unitarias en ingeniería química.
- [4] NIH, N. I. i. D. a. D. a. K. D. Your kidneys & how they work.
- [5] Perry, R. H., Green, D. W., Maloney, J. O., & Arrébola, L. A. (2001). Manual del ingeniero químico (Vol. 2). McGraw-Hill Madrid.
- [6] Riella, M. C., & Martins, C. (2003). Nutrición y riñón. Ed. Médica Panamericana.

Logística 4.0 y tendencias tecnológicas: una revisión bibliográfica

Juárez Robles Beatriz¹, Guzmán Gorrochotegui Erick Rodrigo¹

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico S/N. Colonia Agrícola Bellavista, Metepec, Edo. de México, México, 52149.
bjuarezr@toluca.tecnm.mx

Resumen. La logística desempeña una función primordial al conectar la industria manufacturera con el cliente final, por lo que cualquier cambio en los procesos involucrados tendrá repercusiones a corto y largo plazo. De igual manera, la industria 4.0 desempeña un papel trascendental en la transformación digital a nivel organizacional debido a los beneficios que se obtienen cuando es aplicada. Por tal razón, a la hora de tomar decisiones es crucial para las compañías saber seleccionar la tecnología adecuada de acuerdo con su entorno y contexto, tomando en cuenta que la rápida actualización de estas limita la integración en sus procesos, especialmente en aquellas que enfrentan barreras técnicas y económicas.

La selección adecuada de las tecnologías dependerá de las necesidades de cada empresa y es crucial para su éxito comercial. El objetivo principal de este artículo es recopilar y sintetizar de manera estructurada la evidencia disponible sobre las tecnologías más utilizadas en la logística 4.0, que se pueden aplicar en el transporte terrestre, marítimo y en almacenes. Se revisaron artículos publicados en diversas bases de datos mediante una exploración sistemática de la literatura. Se realizó la recolección de información referente a las tecnologías 4.0 más representativas. Además, se identificaron las tendencias principales que las empresas pueden aplicar en el ámbito de las cadenas de suministro. Finalmente, se elaboró una clasificación de las tecnologías dependiendo del área de interés (transporte terrestre, marítimo y en almacenes).

En conclusión, se tiene que la realización de este artículo permite tener un compendio de las tecnologías 4.0 con mayor impacto en los procesos logísticos, tomando en cuenta que las empresas que adoptan la logística 4.0 están mejor posicionadas para enfrentar los desafíos del futuro.

Palabras clave: Industrias 4.0, digitalización, logística, tecnologías, almacenes, transporte.

1. Introducción

Desde la perspectiva logística, las tecnologías 4.0 son herramientas que conectan y permiten la transferencia de información en la cadena de suministro, lo que resulta en un aumento de la competitividad de los nodos y una maximización de la productividad [1].

Por otra parte, la cadena logística se encuentra actualmente en un proceso de transformación en el cual se busca que el movimiento del producto sea no solo rápido, sino también eficiente, en tiempo real y con el mínimo de errores. Este cambio requiere la interconexión de la información, la optimización de los procesos, los tiempos y recursos. Tecnologías como el blockchain, el big data, el internet de las cosas (IoT), la automatización, la realidad aumentada, la realidad virtual, el digital twin, la inteligencia artificial (IA), son los principales impulsores de la transformación digital en las organizaciones. Estas tecnologías han provocado un cambio de paradigmas en todos los sectores industriales, con un impacto especialmente significativo en el sector logístico, incluyendo el sector de transporte en todas sus modalidades (marítimo, aéreo, terrestre, ferroviario), generando nuevas oportunidades, cerrando la brecha entre los diferentes nodos de la cadena de suministro [2].

Sin embargo, surge un problema cuando se trata de cadenas de suministro internacionales, que son cada vez más comunes debido al crecimiento exponencial del comercio electrónico. Los nodos que forman parte de estas cadenas no siempre tienen la misma disponibilidad de tecnologías. En América Latina, el desafío puede ser aún mayor debido a la disparidad en la infraestructura; por ejemplo, existen puertos altamente automatizados; a pesar de ello, las empresas más pequeñas operan con procesos manuales o semiautomáticos que funcionan de manera desconectada entre sí.

Por lo tanto, es crucial implementar estas tecnologías lo más rápido posible para reducir esta brecha [2]. En este artículo se enumeran las tecnologías que tienen un mayor impacto disruptivo en la logística 4.0.

2. Fundamentos teóricos

Una tecnología disruptiva es aquella innovación que crea un nuevo mercado o transforma de manera trascendental un mercado existente, desplazando o haciendo desaparecer productos o servicios que hasta entonces eran utilizados por la sociedad de forma cotidiana. La logística 4.0 se refiere a la aplicación de tecnologías avanzadas y digitales para mejorar la eficiencia, la precisión y la visibilidad en las operaciones logísticas. Se caracteriza por su capacidad de optimización de tiempo y recursos, la trazabilidad de la cadena, la seguridad e integridad de los datos, así como por una adecuada interoperabilidad entre distintos actores humanos y digitales [1].

Su aplicación en la cadena logística posibilita una gestión en tiempo real de los flujos de carga, un mejor aprovechamiento de la infraestructura, de los recursos humanos y tecnológicos disponibles [3],[4]. También permite disponer de grandes volúmenes de información en tiempo real, lo que favorece el proceso de toma de decisiones basado en evidencia, lo cual incrementa la eficiencia operacional, mejoras en los servicios, reduce los costos asociados y aumenta la productividad [4,6].

Entre las tecnologías disruptivas en la logística se encuentran el big data, la robótica, la inteligencia artificial, el internet de las cosas IoT, la automatización, el blockchain. Además de la utilización de sensores inteligentes, drones, gemelos digitales, vehículos autónomos, entre otras más.

3. Desarrollo del trabajo

La metodología desarrollada se basó en una revisión sistemática de literatura, siguiendo los pasos planteados por Kitchenham [5]. En este proceso, se llevó a cabo la búsqueda en bases de datos de alto impacto

(ResearchGate, Taylor & Francis, Redalyc, ScienceDirect, Springer, SciELO, Latindex, y Scopus). El objetivo principal de esta metodología es recopilar, evaluar y sintetizar de manera estructurada la evidencia disponible sobre las herramientas más utilizadas en la logística 4.0. En las Tablas 1, 2 y 3 se muestran las tecnologías más utilizadas y adecuadas para el transporte terrestre, el transporte marítimo, puertos y almacenes logísticos, así como su funcionalidad.

Tabla 1. Aplicación de tecnologías al seguimiento del transporte terrestre

Tecnología 4.0	Aplicación
Analítica y Big Data	Análisis de grandes volúmenes de datos generados por vehículos y sensores para mejorar la planificación de operaciones, prever el mantenimiento y optimizar la logística. Análisis de tiempo real para la toma de decisiones sobre la carga.
Cloud Computing	Información en tiempo real del estado de la mercancía.
Blockchain	Información en plataforma colaborativa; permite una mejor trazabilidad de la mercancía y transparencia de la información para garantizar la autenticidad de documentos y transacciones, sobre todo en el transporte internacional.
IoT	Localización de la carga, estado real de la mercancía. Incorporación de sensores en los vehículos para recopilar datos sobre el rendimiento, la temperatura, el consumo de combustible y otros parámetros relevantes.
Inteligencia Artificial	Gestión de Flotas Inteligentes: Utilización de sensores y sistemas de telemetría para monitorear en tiempo real la ubicación, el rendimiento y el estado de los vehículos en la flota. Esto permite la planificación y el mantenimiento proactivos.
Vehículos Autónomos	Integración de vehículos autónomos en el transporte de mercancías, lo que puede aumentar la eficiencia y la seguridad en ciertos escenarios. Gestión de Última Milla con drones y vehículos de reparto autónomos para mejorar la entrega de mercancías en la última etapa del proceso logístico.
Interconexión y Plataformas Digitales	Creación de ecosistemas digitales que conectan a diferentes actores en la cadena de transporte, como fabricantes, proveedores de logística y consumidores. TMS (Sistema de gestión del transporte).

Fuente: Elaboración propia, [6], [7], [8], [9], [10], [11].

Tabla 2. Aplicación de tecnologías 4.0 en puertos y transporte marítimo

Tecnología 4.0	Aplicación
Realidad Aumentada (AR) y Realidad Virtual (VR)	Empleo de AR y VR para proporcionar información en tiempo real a los trabajadores portuarios, facilitando la planificación y la toma de decisiones. Empleo de AR y VR para proporcionar información contextual a la tripulación, mejorar la formación y facilitar las operaciones en el buque.
Internet de las Cosas (IoT)	La instalación de sensores en contenedores, equipos de manejo y áreas del puerto para recopilar datos en tiempo real sobre el estado de la carga, la ubicación y las condiciones ambientales.
Inteligencia Artificial (IA)	Utilización de algoritmos de inteligencia artificial para optimizar las rutas de transporte y distribución de mercancías desde el puerto hasta los destinos finales.
Blockchain	Utilizado para garantizar la transparencia, autenticidad y trazabilidad de los documentos electrónicos en el movimiento de mercancías y relacionados con el transporte de carga a lo largo de la cadena de suministro, aumentando la confianza entre los diferentes participantes.
Big Data y Analítica	El análisis de grandes volúmenes de datos generados por sensores y sistemas para mejorar la planificación de operaciones, predecir la demanda y optimizar la asignación de recursos. Para predecir posibles problemas técnicos en el buque, permitiendo el mantenimiento proactivo y la reducción de paradas no planificadas.
Automatización y robótica	Gestión de Carga y Logística Portuaria: El uso de grúas automatizadas, vehículos guiados automáticamente (AGV) y otros equipos robóticos para agilizar el proceso de carga y descarga de contenedores en los buques y en el puerto.
Colaboración Digital y Plataformas de Ecosistema	Creación de plataformas digitales que conectan a todos los actores en el ecosistema portuario, como operadores de buques, transportistas y aduanas, para mejorar la coordinación y la comunicación.
Sensores inteligentes y telemetría	Monitoreo en tiempo real del rendimiento de los buques, incluyendo datos sobre consumo de combustible, condiciones climáticas y estado de la carga.
3D, digital twin, Soluciones digitales	Gestión de la Tripulación y Formación Avanzada: Aplicación de soluciones digitales para optimizar la gestión de la tripulación, así como para proporcionar una formación más avanzada y específica.

Fuente: Elaboración propia, [6], [5], [8], [9].

Tabla 3. Aplicación de tecnologías 4.0 en almacenes

Tecnología 4.0	Aplicación
Sistemas de Gestión de Almacenes (WMS)	Utilización de sistemas de software avanzados para gestionar de manera eficiente el flujo de productos, desde la recepción hasta la distribución, optimizando la ubicación de productos y la planificación de rutas.
Realidad Aumentada (AR) y Realidad Virtual (VR)	Uso de AR y VR para proporcionar información en tiempo real a los trabajadores del almacén, como instrucciones de selección de productos y diseño de rutas óptimas.
Internet de las Cosas (IoT)	La implementación de sensores en productos, estanterías y equipos en el almacén para recopilar datos en tiempo real. Esto permite el monitoreo y la optimización de las operaciones, así como la identificación temprana de problemas.
Inteligencia Artificial (IA)	Aplicación de algoritmos de IA para predecir la demanda de productos, optimizar las rutas de entrega, reducir errores y mejorar la planificación.
Gestión de Inventario Inteligente	Empleo de sensores y sistemas de seguimiento para mantener un control preciso del inventario en tiempo real, lo que ayuda a prevenir faltantes y excesos.
Big Data y Analítica	El uso de grandes volúmenes de datos generados por sensores y sistemas en el almacén para obtener información valiosa sobre patrones de demanda, eficiencia operativa y áreas de mejora.
Automatización y robótica	La incorporación de robots y sistemas automatizados en los almacenes para tareas como la recolección, embalaje y distribución de productos, entre otras. Esto puede incluir robots móviles, brazos robóticos y sistemas de transporte automatizados.

Fuente: Elaboración propia, [6], [8], [10], [12], [13].

4. Conclusiones

La adopción de la logística 4.0 conlleva una serie de beneficios tanto para las empresas como para la cadena de suministro en su conjunto. Estos beneficios incluyen una mejora como la **eficiencia**, ya que los procesos optimizados y automatizados reducen los tiempos de espera, los costos operativos y los errores. Proporciona **visibilidad, ya que permite acceder a la información en tiempo real**, lo que facilita la toma de decisiones más rápida y precisa. También contribuye a la **reducción de costos** al optimizar rutas, gestionar los inventarios y la automatización de los procesos operativos y de transporte. Además, mejora la **satisfacción del cliente al garantizar entregas precisas y puntuales de los productos**. Fomenta la innovación continua al adoptar tecnologías emergentes y adaptarse a las necesidades cambiantes del mercado. Las empresas que adoptan la logística 4.0 están mejor posicionadas para enfrentar los desafíos del futuro y ofrecer un servicio excepcional a sus clientes en una economía cada vez más digitalizada. En última instancia, la logística 4.0 no solo se trata de adoptar tecnología, sino de aprovechar el poder de la innovación para construir una cadena de suministro más resiliente, eficiente y orientada al cliente.

5. Referencias

- [1] Winkelhaus S. & Grosse E.H. (2020). Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system, *International Journal of Production Research*, 58:1, 18-43, DOI: 10.1080/00207543.2019.1612964
- [2] Radivojević, G., & Milosavljević, L. (2019, May). The concept of logistics 4.0. In *4th Logistics International Conference* (pp. 23-25).

- [3] Rivillas M. C. (2022). *Modelo de madurez para la evaluación de la logística 4.0 en operaciones logísticas de ecommerce*. Universidad Nacional de Colombia.
- [4] Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia manufacturing*, 13, 1245-1252.
- [5] Kitchenham B., Brereton OP., Budgen D., Turner M., Bailey J., Linkman S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review, *Information and Software Technology*, Volume 51, Issue 1, 7-15 pp, ISSN 0950-5849, <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>
- [6] Yangke D. & Mingzhou J. & Sen L. & Dingzhong F. (2020). Smart logistics based on the internet of things technology: an overview. *International Journal of Logistics Research and Applications*. 24.
- [7] Chang Y., Iakovou E. & Shi W. (2020). Blockchain in global supply chains and cross border trade: a critical synthesis of the state-of-the-art, challenges and opportunities, *International Journal of Production Research*, 58:7, 2082-2099, DOI: 10.1080/00207543.2019.1651946
- [8] Zheng T., Ardolino M., Bacchetti A. & Perona M. (2021). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review, *International Journal of Production Research*, 59:6, 1922-1954, DOI: 10.1080/00207543.2020.1824085
- [9] [9] Stietencron S., Hribernik K., Lepenioti K., Bousdekis A., Lewandowski M., Apostolou D. & Mentzas G. (2022). Towards logistics 4.0: an edge-cloud software framework for big data analytics in logistics processes, *International Journal of Production Research*, 60:19, 5994-6012, DOI: 10.1080/00207543.2021.1977408
- [10] [11] Schlott, S. Vehicle Systems for Logistics 4.0. *ATZ Worldw* 119, 8–13 (2017). <https://doi.org/10.1007/s38311-017-0002-7>
- [11] [12] Ding Y., Mingzhou J., Sen L. & Feng D. (2021). Smart logistics based on the internet of things technology: an overview, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 24:4, 323-345, DOI: 10.1080/13675567.2020.1757053
- [12] [13] Grosse E.H. (2023). Application of supportive and substitutive technologies in manual warehouse order picking: a content analysis, *International Journal of Production Research*, DOI: 10.1080/00207543.2023.2169383

Human Traction (HT)

Olivares Estrada, María de Lourdes¹, García de la Rosa, Omar², García de la Rosa, Héctor²

¹ Centro de Bachillerato Tecnológico 1, Lerma, Estado de México, México.

² Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, Estado de México, México.

hegar71@yahoo.com.mx

Resumen: El presente documento es el resultado del diseño de un prototipo de automóvil impulsado mediante la tracción humana, que utiliza un mecanismo de pedaleo proporcionado por el operador y combina la impulsión con un motor de combustión interna de gasolina. Se trata de obtener un vehículo que reduzca las emisiones contaminantes por hidrocarburos al medio ambiente, que sea capaz de transportar hasta 4 personas, las cuales puedan interactuar como fuerza motriz, y que sea económico debido al bajo consumo de combustible. También económico por el reducido número de autopartes o refacciones que contendrá. Para ello, se implementó una memoria de cálculo basada en estudios ergonómicos de un mexicano promedio; posteriormente, se plantea el análisis dinámico, estático y de resistencia de materiales relacionados con los niveles de carga y velocidad a que será sometido el prototipo. Los resultados teóricos se comparan con los materiales comerciales que se utilizarán en el ensamble de la estructura de esta unidad; también se propone el uso de un motor de gasolina de 1 cilindro solo para caso de emergencia, lo que lo llevaría a un nivel de auto híbrido. Esto parece indicar que la técnica e ingeniería mexicanas es capaz de lograr transformaciones que benefician a nuestra sociedad.

Palabras clave: automóvil, pedales, motor, medio ambiente y economía.

I. Introducción

Esta investigación está centrada en el objetivo de diseñar y construir un vehículo impulsado por tracción humana con capacidad de transportar hasta 4 personas, que a su vez sea una unidad tipo híbrida al contar con la propuesta de motor monocilíndrico solo para el caso de emergencia. Esto nos dará la oportunidad de tener un vehículo económico, ligero, de fácil mantenimiento y de bajas emisiones contaminantes para el medio ambiente.

La transición hacia un mundo más sostenible, sobre todo ecológicamente, parece ser que se está acelerando y que la tenemos a la vuelta de la esquina. Para ello, el sector de los automóviles ha ido, poco a poco, desarrollándose para ofrecer modelos mucho menos contaminantes, como son los híbridos y los eléctricos [1]. Los vehículos diseñados bajo un sistema híbrido tienen la ventaja de reducir el consumo de combustibles fósiles, reducir la cantidad de partículas contaminantes al medio ambiente, y gran disminución de contaminación acústica; sin duda, el acondicionamiento de autos con mecanismos híbridos que no afecten el rendimiento, capacidad de

carga y velocidad automotriz, es un gran reto” [2]. Por otra parte, las bicimáquinas surgen de la necesidad de crear máquinas, equipos y herramientas con un carácter solidario con el planeta utilizando la energía humana multiplicada por medio de pedales y resultando en un tipo de energía mecánica limpia y autónoma [3].

2. Fundamentos teóricos

Se consideraron 3 rubros, como son: A) Potencia Suministrada, B) Análisis de Resistencia y C) Análisis Dinámico:

A) Potencia Suministrada [4]: Para este análisis se tomó como base a una persona mexicana promedio aplicando fuerza sobre el pedal, por lo que consideraremos algunos datos como son las características biomecánicas para poder crear el sistema motriz: que 1 persona en promedio de 70 Kg de masa corporal aplicara su fuerza sobre el pedal, y después de analizar obtuvimos $F = 686.7$ newtons. Por otra parte, consideramos 170 mm, o sea, 0.17 metros de largo de la biela del pedal aplicados al movimiento para la corona principal y colocados a 45° respecto a los ejes horizontal y vertical; tenemos un diagrama de cuerpo libre como la Figura 1 y considerando una frecuencia de pedaleo de 1 hertz, o sea, 60 vueltas en un minuto, por lo que para dar el impulso se requieren 0.5 segundos; para la potencia instantánea del sistema se consideró el tiempo de un segundo de acuerdo con la definición de potencia para el sistema internacional de unidades. Cuanto más alto es el torque, mayor es la capacidad para realizar el trabajo $P_i = 116.13$ watts; y si consideramos ahora relacionar la potencia desarrollada con la velocidad de rotación o velocidad angular que se propuso de acuerdo con el ritmo cardiaco de la persona promedio, tendremos que $P = 0.96$ hp. Por otra parte, la fuerza incidente sobre el pedal de acuerdo con el movimiento angular va produciendo un efecto sobre la periferia de la circunferencia descrita, llamada fuerza tangencial, que es la que aporta al movimiento y también produce otra fuerza a lo largo del radio de la circunferencia, llamada fuerza radial, que es la que cargarían los baleros, cojinetes, bujes, metales o apoyos de la estructura del mecanismo. Por lo que la fuerza total para la impulsión es igual a la suma de las fuerzas tangencial y radial, recordando que se partió de la suposición de que la biela se encontraría a 45° con respecto a ejes ficticios tanto horizontal como vertical, por lo que se puede trazar un sistema vectorial de fuerzas como lo muestra la Figura 2:



Fig.1. Diagramas de cuerpo libre



Fig.2. Sistema vectorial de fuerzas

Las cuales, de acuerdo con la teoría del sólido rígido, pueden trasladarse al centro de la masa del mecanismo, por lo que considerando el triángulo de los vectores de fuerzas y con las condiciones de equilibrio $\sum F = 0$, tenemos que $\sum F_x = 0$ y $\sum F_y = 0$, lo que representa que $F_t = -485.57$ newtons y $F_r = -485.57$ newtons. Como se observa en la Tabla 1, se comprarte un resumen de datos obtenidos para el sistema de pedaleo considerando solamente a 1 persona:

Human Traction (HT)

Tabla 1. Resumen de datos técnicos para 1 persona

Fuerza	$F = 686.7$ newtons
Torque	$T = 116.73$ newtons-metro
Trabajo	$T = 116.73$ newtons-metro
Impulso	$I = 343.35$ newtons segundos
Potencia Instantánea	$P_i = 116.13$ watts
Potencia Media	$P = 0.96$ hp
Fuerza Tangencial	$F_t = 485.57$ newtons
Fuerza Radial	$F_r = 485.57$ newtons

Considerando las 4 personas y conectando a una flecha central con el mismo sentido de giro, como se ilustra en la Figura 3:

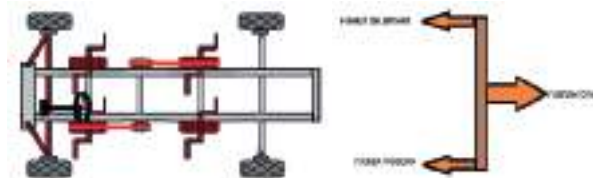


Figura 3. Esquema de posicionamiento de pedales y su relación de carga

Entonces, la fuerza total = 2746.8 newtons, de manera análoga para el torque $T_{2P} = 466.84$ newtons-metro y la potencia total proporcionada por los 4 ocupantes será: $P = 3.86$ HP.

B) Análisis de Resistencia [5]: Consideremos ahora el diagrama de cuerpo libre de la vista lateral, considerando una distancia entre centro de las ruedas laterales de 2.2 metros y la fuerza de la masa corporal de una persona ($F_1 = 686.7$ newtons), más la estructura de la carrocería de 200 Kg, por lo que la fuerza total es 2648.7 newtons y la fuerza de rueda trasera o delantera = 1324.5 newtons; o sea que la fuerza de la rueda izquierda o derecha = 662.5 newtons o $F_R = 67.5$ Kg. La Figura 4 muestra una rueda de carga seleccionada para este proyecto:



Figura 4 Rueda de carga

Por otra parte, el perno de carga de la rueda es de $\frac{1}{2}$ " de diámetro de acero AISI 1020, por lo que su sección transversal es de 0.0125 m^2 ; entonces, el perno de carga de la rueda se encuentra sometido a un esfuerzo cortante de 53 KPa, y considerando las propiedades mecánicas del acero AISI 1020, tenemos: resistencia última

a la tensión de 400 a 790 MPa, por lo que se prevé un diseño totalmente confiable para el nivel de carga que soporta. Para nuestro caso particular, nuestra llanta muestra que el Índice de carga es de 52, lo que implica que soporta hasta 200 kg, pero como la fuerza aplicada por cada rueda es de 67,5 Kg., nos representa casi un factor de seguridad de 3.

C) Análisis Dinámico [6]: Tomaremos un factor de fricción de 0.6 por considerarlo en diferentes situaciones para neumáticos nuevos y usados; entonces, consideraremos 500 Kg entre el peso del automóvil y de los 4 ocupantes, por lo que podremos conocer la fuerza necesaria para lograr el movimiento (Figura 5); para ello es necesario conocer las fuerzas de fricción a las que se someterá el automóvil. Ahora, debemos considerar que si tomamos en cuenta que las fuerzas de reacción afectadas por la fricción nos darán las fuerzas normales que contrarrestarán a la fuerza de movimiento, entonces la fuerza de movimiento para las ruedas delanteras o traseras es de 1471.5 newtons. Por otra parte, sabemos que las bicicletas o los carros eléctricos alcanzan velocidades hasta de 30 Km/hr, por lo que se requiere conocer si la fuerza requerida para mover el vehículo será suficiente para alcanzar la velocidad propuesta; entonces, debemos tomar en cuenta la ecuación del movimiento uniformemente acelerado, y considerando un $t = 10$ segundos, podemos conocer la aceleración requerida para impulsar el móvil $A = 0.833 \text{ m/s}^2$. Reconsiderando la segunda ley de Newton, tenemos que $F = 416,5$ newtons, y comparando con la fuerza de empuje para mover el automóvil = 2943 newtons, por lo que podemos afirmar que existe la capacidad suficiente para impulsar el vehículo con la fuerza de los pedales (Figura 6).

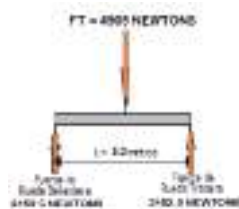


Fig.5 Análisis de fuerzas



Fig.6 Fuerzas para impulsar el automóvil

3. Desarrollo del trabajo

Modalidad Tracción Humana (HT):

Para iniciar, se toma como referencia y punto de partida un sistema de dirección tomado de reciclaje y sobre dicho elemento se suelda una estructura general o chasis a partir de tubular de hierro de 2" x 2" x 1/4", formando una base rectangular de 3 mts de longitud x 0.60 mts de ancho, y se omiten detalles de la dirección para facilitar la forma en que se pretende construir la estructura; posteriormente, se coloca a 0.40 mts de la parte posterior la base para insertar las ruedas, se procede a la instalación de las cuatro ruedas de R19 por 2.75, quedando una forma general como se aprecia en la Figura 7.

El principio fundamental de la tracción es que se pueda aprovechar la fuerza de cada uno de los ocupantes; para este caso particular se pretende que sean 2 en la parte delantera y 2 en la parte trasera, por lo que se desarrolla un sistema dual de pedales para cada una de las partes y completando con la parte trasera. Entre cada uno de los ejes del sistema de pedaleo se inserta un nuevo eje o flecha captadora de todo el movimiento circular producido, quedando integrado de la forma en que lo muestra la Figura 8:

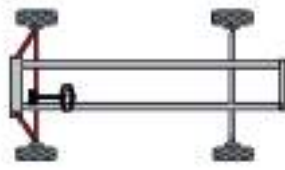


Fig.7 Estructura de Inicio

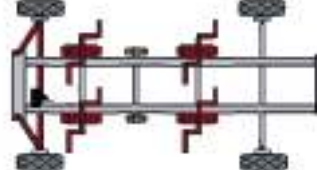


Fig.8 Mecanismo de pedales sobre la estructura

Colocamos una cadena de transmisión de potencia en el sistema delantero y de manera similar lo desarrollamos para el sistema trasero; de manera análoga a lo anterior, se instala un sistema de tracción entre la flecha central y el eje motriz conectado a las ruedas traseras, que serán las de trabajo, y se procede a la ubicación de los asientos de cada ocupante de la unidad, tal como se muestra en la Figura 9:

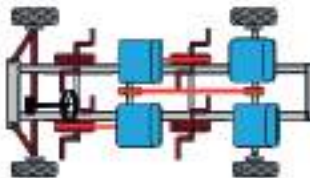


Fig.9 Estructura completa para Tracción Humana



Modalidad combustión Interna a gasolina: Para este caso se tiene un motor de combustión interna de 1 cilindro, 200 cc a gasolina, de la marca Itálica, como lo indica la Figura 10:

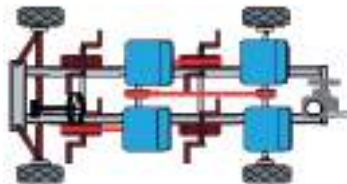
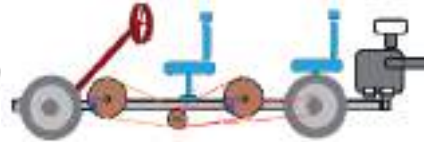


Fig.10 Estructura de automóvil con motor monocilíndrico



Después se coloca una polea en el eje de tracción principal y se ajusta una banda sobre la polea del motor y de la flecha de las ruedas de impulsión, con lo que se completan las 2 fases de tracción, obteniendo una nueva modalidad de auto híbrido, como se aprecia en la Figura 11:



Fig.11 Auto híbrido (pedales–gasolina)

4. Conclusiones

Los avances en esta investigación están demostrando la pertinencia de los análisis teóricos con respecto a los elementos comerciales o que podemos encontrar en los mercados locales, lo que implica que los estudios de ingeniería que se llevan a cabo actualmente en nuestro país son completamente útiles para desarrollar tecnología acorde con las necesidades locales. El proyecto en cuestión se encuentra en una fase de construcción, como se muestra en la Figura 12, lo que cada vez nos motiva e inspira a continuar desarrollando actividades técnico-científicas que cubran necesidades específicas de la sociedad, pero que sean amigables con nuestro medio ambiente.



Fig.12 Construcción de HT

5. Referencias

- [1] Guillén D. M. (2022). “Aceptación de los coches híbridos y eléctricos”, Universidad de Alicante, San Vicente del Raspeig, España.
- [2] Morales P., Páez S., et al, “Los Vehículos Híbridos: Una solución a la contaminación ambiental”, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- [3] Bicimáquinas (2013), “Desarrollo sustentable con bicimáquinas: Conócelas”, <https://vinculando.org/mercado/desarrollo-sustentable-con-bicimaquinas-conocelas.html>.
- [4] Budynas R.G., Nisbeth J.K. (2012). “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley”, ISBN 978-607-15-0771-6, Mc Graw Hill, 9 Edición, México.
- [5] Hibbeler R.C., (2017). “Mecánica de Materiales”, ISBN 978-607-32-4099-4, Ed. Pearson, México.
- [6] Beer F.P., Jonhston E. R., Cornwell P.J. (2010). “Mecánica vectorial para Ingenieros, Dinámica”, ISBN-13: 978-607-15-0261-2, Mc Graw Hill, 9 Edición, México.

Aula Maker del Instituto Tecnológico de Milpa Alta

Olivos Barranco, Israel¹, Núñez Cuadra, Adriana²

¹ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Milpa Alta.

² Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tlalpan.

israel.ob@milpaalta.tecnm.mx

Resumen. Un *Aula Maker* es un espacio de trabajo colaborativo para los estudiantes donde realizan proyectos mediante el uso de herramientas. En años recientes, estos espacios *Maker* han tenido un crecimiento constante dentro del ámbito educativo, especialmente en las universidades mha; llama la atención la forma en que el “movimiento *Maker*” pone en práctica, de manera intrínseca, las teorías del aprendizaje constructivista. En México, sin embargo, son pocas las universidades que tienen un *Aula Maker*. En este trabajo se define el *Aula Maker* como un espacio de colaboración para los estudiantes, donde se comparten herramientas, conocimientos e ideas, con el uso de un modelo basado en aprendizaje colaborativo, mediante el cual se promueve la innovación y la creatividad en el ámbito universitario.

Palabras clave: Makerspace, *aula maker*, aprendizaje colaborativo, creatividad, innovación.

I. Introducción

En los años cincuenta del siglo pasado, surgió un movimiento conocido como *Do It Yourself* (DIY, “Hágalo usted mismo”, en español), cuyo propósito es incentivar a las personas para que realicen actividades como reparaciones en el hogar, fabricación de muebles e incluso la construcción de artefactos tanto decorativos como utilitarios. En 2005, este movimiento fue retomado por Dale Dougherty, de O’Reilly Media, quien lanzó la revista *Make*®, con lo cual inició lo que ahora se conoce como *Maker Movement* o “movimiento hacedor”. A partir de 2006, en Estados Unidos comenzaron a realizarse las *Maker Faires*®, exhibiciones de los proyectos realizados por los entusiastas de ese movimiento emergente.

En años recientes, el movimiento *Maker* ha recibido mucha atención, pues se ha convertido en una forma de expresión creativa y comunitaria, con un número creciente de seguidores. El movimiento tiene tres componentes principales: 1) *Making*, como un conjunto de actividades, 2) los *Makerspace*, como comunidades de práctica y 3) los *hacedores* como individuos (Halverson & Sheridan, 2014).

Los *Makerspace* han tenido un crecimiento constante desde que fueron creados; especialmente en las universidades ha llamado la atención la forma en que el movimiento *Maker* pone en práctica, de manera

intrínseca, las teorías del aprendizaje constructivista. En México, sin embargo, son pocas las universidades que tienen un *Makerspace*.

2. Fundamentos teóricos

El Modelo Educativo para el Siglo XXI Formación y Desarrollo de Competencias Profesionales (DGEST, 2012), del Tecnológico Nacional de México, está constituido por tres grandes dimensiones: la filosófica, que centra la atención del modelo en el ser humano; la académica, que integra los parámetros de referencia de formación profesional, la concepción de aprendizajes y sus condiciones, así como los estándares de la práctica educativa en los institutos tecnológicos; y la dimensión organizacional, que coadyuva al cumplimiento de los fines del modelo y garantiza que los recursos sean dedicados sustancialmente a los fines educativos.

Aplicación de un modelo de caja negra a un sistema productivo

Un sistema productivo se puede definir como un conjunto de elementos humanos, físicos, mecánicos y tecnológicos estructurados para producir un bien o un servicio. Es un sistema teleológico diseñado por el hombre, es decir, su comportamiento obedece a un propósito. Tomando en consideración el modelo de la caja, a continuación se presenta un esquema general del modelo de caja negra aplicado a un sistema productivo:

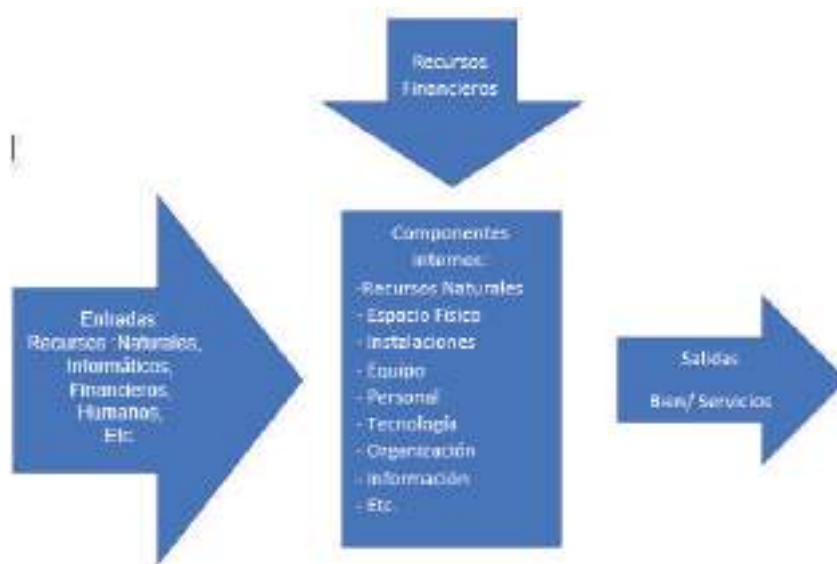


Figura 1. Representación de un sistema productivo en un modelo de caja negra (elaboración propia)

Modelo de caja negra del TecNM campus Milpa Alta

El TecNM campus Milpa Alta es un sistema productivo cuya misión es ofrecer servicios de educación superior tecnológica de calidad; se considera el proceso educativo como el fundamental para la transformación de los insumos de entrada, que son los estudiantes, que egresan como profesionistas.

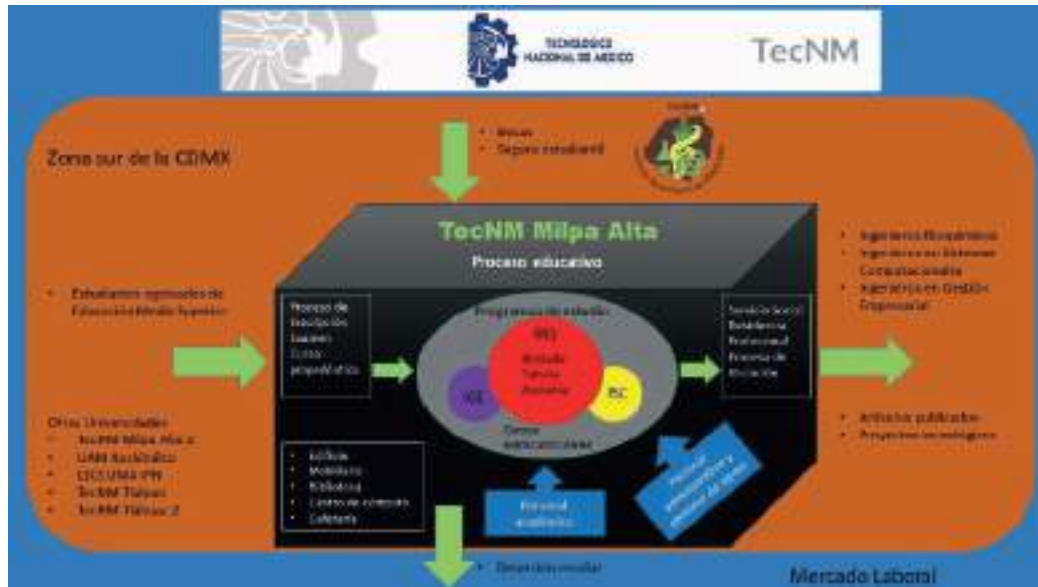


Figura 2. Modelo de caja negra del TecNM campus Milpa Alta (elaboración propia)

En la representación del proceso educativo con el modelo de caja negra, se observa el proceso educativo, así como el entorno de primer orden, que interactúa directamente con el sistema, y el entorno de segundo orden.

3. Desarrollo del trabajo

Para el Tecnológico Nacional de México, una competencia es la integración y aplicación estratégica de conocimientos, procedimientos y actitudes necesarios para la solución de problemas de contexto, con una actuación profesional, ética, eficiente y pertinente en escenarios laborales heterogéneos y cambiantes (Tecnológico Nacional de México, 2014).

Este concepto de competencia más allá de lo cognitivo y lo laboral se centra en la definición y comprensión del ser competente como una forma de vida, por lo tanto, se centra en formar competencias para la vida (Gamino-Carranza & Acosta-González, 2016).

Los Programas de Estudio que se desarrollan en el TecNM están soportados por los siguientes contenidos (DGEST, 2012):

- Los contenidos conceptuales —*el saber*— son constructos teóricos que ayudan al estudiante a resolver un problema de carácter científico. Son de carácter disciplinario y fundamentan a los contenidos procedimentales.
- Los contenidos procedimentales —*el saber hacer*— son ejecución de procesos, métodos, técnicas y procedimientos relacionados con el tratamiento de problemas de producción. En el saber hacer se expresan de manera operativa los contenidos conceptuales.
- Los contenidos actitudinales —*el saber ser*— son pautas habituales de actuación que conforman el perfil ético de la persona como profesional.

Estos contenidos del Modelo Educativo del TecNM se toman como base para el desarrollo del proyecto *Aula Maker*, considerando que las características de trabajo colaborativo, aprendizaje basado en proyectos, uso de herramientas y nuevas tecnologías pueden coadyuvar al logro de los objetivos en la adquisición de competencias y fomento a la creatividad e innovación.



Figura 3. Aula Maker del TecNM campus Milpa Alta (elaboración propia)

Con la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación se fortalece la labor académica y se contribuye a la generación del conocimiento, a través del desarrollo de productos, diseños, procesos y servicios que mejoran la calidad de vida de la sociedad (TecNM, 2020).

Innovación Tecnológica es el resultado de acciones que propicien el desarrollo, la producción y la comercialización de nuevos o mejorados productos y/o servicios.

Incluye además la reorganización de procesos productivos, la asimilación o mejora sustancial de un servicio o proceso productivo y que todas estas acciones hayan satisfecho una necesidad social o que estén avaladas por su éxito comercial (DGEST, 2012).

Fortalecimiento de la investigación, el desarrollo tecnológico, la vinculación y el emprendimiento (TecNM, 2020). Es uno de los ejes estratégicos que se plantean dentro del TecNM en su PDI (Programa de Desarrollo Institucional) 2019-2024. Los indicadores de este eje estratégico son la conformación de grupos de trabajo interdisciplinario para la innovación y emprendimiento, así como el desarrollo de prototipos e iniciativas de nuevos negocios en la comunidad TecNM.

Resultados obtenidos

El *Aula Maker* del Instituto Tecnológico de Milpa Alta inició formalmente su funcionamiento el 8 de septiembre del presente año, y durante el presente semestre ha funcionado como laboratorio para la realización de prácticas de la materia de *Principios Eléctricos y Aplicaciones Digitales* correspondiente al tercer semestre de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Prácticas realizadas en el *Aula Maker*

	Subtema	Competencia
Circuitos eléctricos	Uso de instrumentos de medición.	Maneja instrumentos y equipos de medición eléctricos.
Electrónica analógica	2.3 Armar una fuente de voltaje con base en un diseño propuesto.	Identifica las características de los dispositivos electrónicos utilizando hoja de especificaciones.

La impresión 3D es una tecnología de fabricación aditiva que crea una impresión de plástico mediante la superposición iterativa de los materiales necesarios hasta completar el producto final. Con el servicio de impresión 3D que se ofrece en el *Aula Maker* los estudiantes han realizado proyectos como:



Figura 4. Impresión en 3D de diseños realizados por estudiantes (elaboración propia)

4. Conclusiones

La creatividad y la innovación han permitido el desarrollo de innumerables avances tecnológicos que son parte de la vida cotidiana en la actualidad.

El movimiento *Maker* es una respuesta a la necesidad de socialización del aprendizaje. Se retoma la base de aprender haciendo, inherente al ser humano, y se aplica con el uso de nuevas tecnologías. Esta tendencia llama la atención de la educación formal debido a que se identifican los componentes constructivista y constructorista del movimiento *Maker*.

La impresión 3D promueve la innovación y creatividad, ya que brinda la posibilidad de materializar una idea en algo tangible.

También al realizar proyectos en el *Aula Maker*, los estudiantes pueden materializar conceptos teóricos de física y matemáticas impartidos en las carreras de Ingeniería.

Los beneficios que tendrá el estudiante al hacer uso del *Aula Maker*, las estrategias para crear experiencias de aprendizaje, la evaluación de las competencias adquiridas, son algunas líneas de investigación a seguir.

5. Referencias

- [1] DGEST. (2012). *Modelo educativo para el siglo XXI: Formación y desarrollo de competencias profesionales*. <http://www.dgest.gob.mx/modeloeducativo/modeloeducativo.pdf>
- [2] Gamino-Carranza, A., & Acosta-González, M. G. (2016). Modelo curricular del Tecnológico Nacional de México. *Revista Electrónica Educare*, 20(1), 1–25. <https://doi.org/10.15359/ree.20-1.10>
- [3] Halverson, E. R., & Sheridan, K. M. (2014). The maker movement in education. *Harvard Educational Review*, 84(4), 495–504. <https://doi.org/10.17763/haer.84.4.34j1g68140382063>
- [4] TecNM. (2020). *PDI 2019-2024*.
- [5] Tecnológico Nacional de México. (2014). *Proyectos integradores para la formación y desarrollo de competencias profesionales del Tecnológico Nacional de México*.

Hongos Micorrízicos Arbusculares: los Sanadores Ancestrales del Suelo

De la Cruz-Reyes, Ernesto¹, García-Gaitán, Beatriz¹, Cortés-Sarabia, Jazmín², García-Rivas, José Luis¹, Rubí-Arriaga, Martín³, Ramírez-Gerardo, Marithza⁴

¹ Instituto Tecnológico de Toluca. Metepec, Estado de México.

² Instituto Tecnológico de Ciudad Altamirano, Pungarabato, Guerrero.

³ Centro de Investigación en Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México.

⁴ Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo, Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo.
dd20280299@toluca.tecnm.mx bgarciag@toluca.tecnm.mx

Resumen. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) pueden servir como biofertilizantes a largo plazo para mantener la disponibilidad de nutrientes para las plantas. La mayoría de ellas establecen relaciones simbióticas con los HMA para tener acceso a nutrientes esenciales, tanto para la planta como para el hongo. Actualmente, los HMA enfrentan la alta degradación de los suelos, provocada por el uso excesivo de agroquímicos en los cultivos agrícolas, lo que impide el desarrollo y sobrevivencia natural de estos microorganismos; su encapsulación en matrices biopoliméricas se ha convertido en una alternativa para aumentar la viabilidad de los inoculantes e incrementar su eficiencia en su aplicación en la agricultura sustentable. En este trabajo se revisaron exhaustivamente las más recientes investigaciones en torno a los HMA, con la finalidad de dar a conocer su importancia biológica dentro de los ecosistemas y buscar su aprovechamiento en el desarrollo de prácticas de agricultura sustentable hacia el medio ambiente.

Palabras clave: micorrizas, biorremediación, simbiosis, estrés hídrico.

1. Introducción

En los sistemas biológicos se generan interacciones entre los organismos, las cuales producen un efecto benéfico o perjudicial entre algunos de ellos. En los ecosistemas se han descubierto dos principales tipos de asociaciones simbióticas, una del tipo parasítica y otra mutualista [1], [2]. En este contexto, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos que habitan el suelo y forman relaciones simbióticas mutualistas con más del 80% de las raíces de las plantas vasculares, facilitando la disponibilidad de agua y nutrientes a la

planta, a cambio de recibir carbohidratos provenientes de la fotosíntesis de la planta huésped [3]. Estos hongos pertenecen a la clase Glomeromycota y datan de hace más de 400 millones de años [4]–[7]. Los HMA han demostrado ser una alternativa viable para la nutrición de plantas y remediación de suelos de cultivo mediante diversas investigaciones; asimismo, el uso de procedimientos de encapsulación en geles mantiene la capacidad colonizadora de HMA para regenerar hifas, especialmente en suelos con alto grado de degradación [8].

2. Fundamentos teóricos

2.1 Micorrizas

El nombre de las micorrizas proviene de los vocablos myces, hongo, y rhiza, raíz, y literalmente significa “hongo-raíz”; fue propuesto en 1885 para definir asociaciones simbióticas, mutualistas, no patógenas, entre raíces de plantas y micelios de hongos, en las que ambos resultan beneficiados[5], [9]; este fenómeno permitió que las plantas colonizaran los suelos terrestres[7]. Actualmente, el concepto de “micorriza” se considera en un sentido más amplio, para abarcar toda asociación simbiótica hongo-planta que no se establece en raíces, sino en otros órganos de contacto, especializados para el intercambio de nutrientes, como ocurre en orquídeas y otras plantas clorofilicas, y en otras “plantas inferiores”, carentes de verdaderas raíces [10], [11].

El carácter heterótrofo de los hongos los condiciona a obtener su fuente carbonada a partir de otros organismos. Los hongos micorrízicos reciben directamente de las plantas los azúcares que requieren para nutrirse y desarrollarse. A cambio captan del suelo varios minerales, principalmente fósforo, cobre y zinc, y ceden a sus hospedantes vegetales los nutrientes minerales y el agua que estos necesitan para crecer [12], [13].

Las micorrizas demandan un desarrollo planta (raíz)-hongo (micelio) sincronizado, puesto que las hifas fúngicas solo colonizan raíces jóvenes, excepto en orquídeas, en las que el hongo puede infectar células del tallo. La planta, en cualquier caso, es quien realmente controla la intensidad de la simbiosis, por el crecimiento de su raíz, pero también por la digestión de la interfase de intercambio, como en el caso de las endomicorrizas, o por la formación de un singular tipo de raíz (secundaria y de crecimiento limitado) en el caso de las llamadas ectomicorrizas [3], [7], [13]–[15]. La raíz constituye en realidad un nicho ecológico donde se desarrolla el hongo, que este aprovecha [16]. La Figura 1 muestra un esquema de la interacción simbiótica de una micorriza arbuscular.

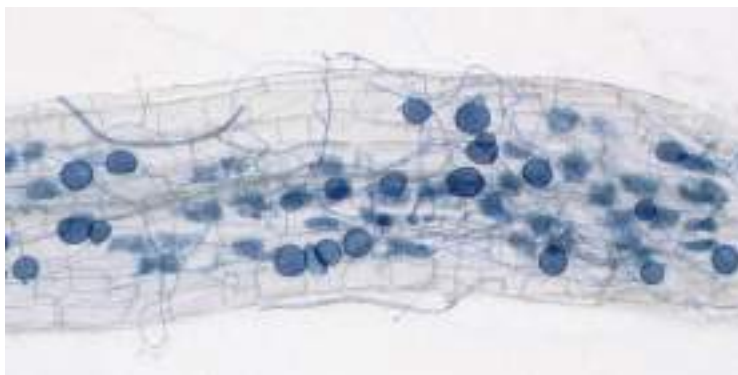


Figura 1. Micorriza arbuscular dentro de una raíz vegetal. [14]

2.2 Hongos micorrízicos arbusculares

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares forman una simbiosis mutualista con las raíces de la mayoría de las especies vegetales. En estas asociaciones simbióticas se genera un movimiento bidireccional de nutrientes

donde el carbono fluye hacia el hongo y los nutrientes inorgánicos, principalmente fósforo, nitrógeno, cobre, zinc y molibdeno, se mueven hacia la planta [15], [17]. Los hongos que forman estas asociaciones son biótrofos obligados y se encuentran ubicados dentro del género *Glomeromycota* [4], [6], [18].

El inicio de la colonización de la planta y con ello la formación de la simbiosis comienza con la germinación de las esporas de resistencia en el suelo cuando las condiciones de temperatura y humedad son favorables, o bien mediante el crecimiento de hifas a partir de propágulos del suelo que se encuentran cerca del sistema radical susceptible [2], [5], [11], [19]. El interés que ha despertado la interacción micorrízica arbuscular se debe a su efecto entre las familias de plantas vasculares, su aparente inespecificidad al colonizarlas y a numerosos reportes de su influencia en el crecimiento de las plantas mediante el incremento de la incorporación de nutrimentos y el mejoramiento de sus relaciones hídricas [20]. Uno de los nutrimentos que más se ha estudiado en relación con su absorción mediada por micorrizas arbusculares es el fósforo, debido a que las plantas lo requieren en relativamente grandes cantidades, pero que también se encuentra en concentraciones muy bajas en el suelo [21].

Actualmente se conocen efectos benéficos de las micorrizas arbusculares, los cuales comprenden la mayor absorción de elementos poco móviles en el suelo, como el fósforo, cobre y zinc, por parte de las plantas micorrizadas en comparación con las no micorrizadas [22] (Figura 2). Además, gracias al uso más eficiente que hacen las plantas micorrizadas de los nutrientes del suelo, permiten ahorrar fertilizantes químicos y reducir por consiguiente los problemas de contaminación que el uso excesivo de fertilizantes conlleva. Existen evidencias de que las micorrizas arbusculares protegen a las plantas del ataque de microorganismos patógenos y del déficit hídrico del subsuelo [8], [23].

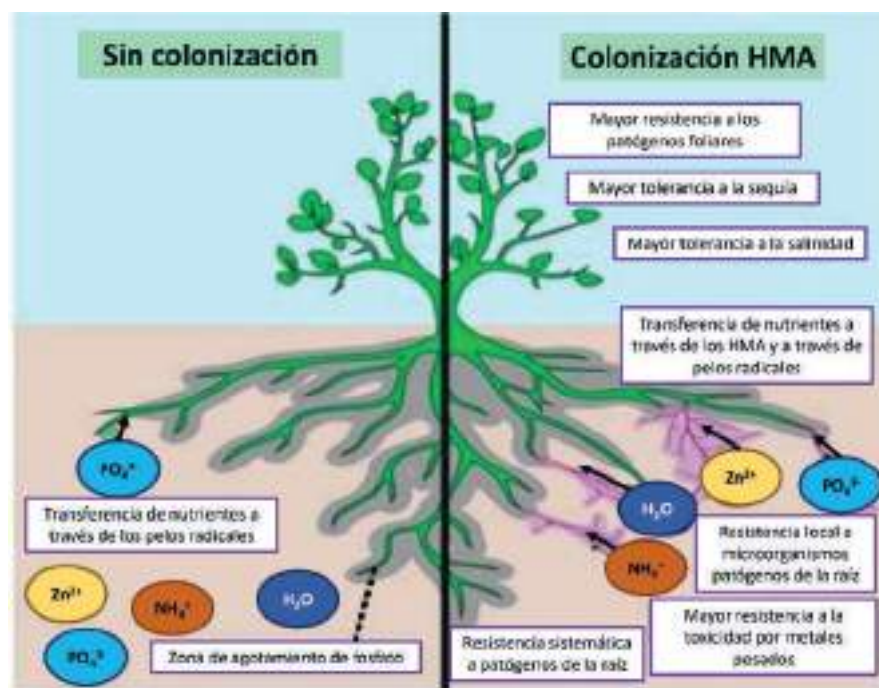


Figura 2. Diferencias de disponibilidad de nutrientes por efecto de los HMA. [24]

2.3 Esporas de *Glomus intraradices* spp

Son esporas solitarias, globosas a subglobosas, de color amarillo paja a café amarillento, de 70–130 μm de diámetro. La pared de las esporas está compuesta de tres capas.

La hifa de sostén es de forma cilíndrica, tiene un grosor de 18 μm en el punto de unión con la espora, la pared está formada de igual manera que la pared de la espora [2], [25].

3. Metodología

3.1 Obtención y aislamiento de esporas de HMA

El aislamiento de las esporas se realiza a partir de muestras de suelo recolectadas en campo, posteriormente, se hace un lavado del suelo para flocular las esporas y este se pasa a través de tamices con diferente apertura de malla (v. gr. 500, 250 y 45 μm). Lo que se recupera del tamiz de 45 μm se lava con agua para quitar las partículas de suelo y se mezcla con una solución de sacarosa con Tween 80, la cual se agita y se centrifuga. El sobrenadante es transferido de nuevo al tamiz más fino (45 μm) y se enjuaga varias veces para retirar el exceso de sacarosa. Después del enjuague la muestra se pasa a una caja de Petri para observar las esporas en el microscopio estereoscópico marca Velab modelo VE-S5C; por último, se separan y se recuperan las esporas, como se muestra en la Figura 3.

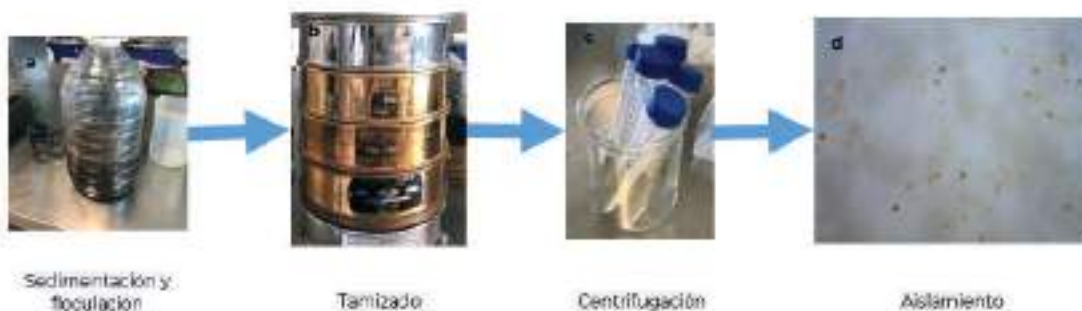


Figura 3. Etapas para el aislamiento de esporas de HMA

4. Desarrollo del trabajo

Diversas investigaciones a finales del siglo XX demostraron los efectos positivos de la presencia de HMA en suelos de cultivo, así como la importancia biológica y su papel en el equilibrio de los ecosistemas. Hoy en día el rumbo de las investigaciones relacionadas a los HMA va encaminado a buscar alternativas de remediación de suelos, reducción de uso de productos agroquímicos altamente contaminantes para el medio ambiente y, en general, utilizar a los HMA como herramientas para la práctica de agricultura sustentable que dé como resultado menor consumo de agua, menor deterioro del medio ambiente y la disponibilidad de productos de origen vegetal seguros para el ser humano.

En años recientes, investigaciones como la de Pitaktamrong y colaboradores [26] desarrollaron y evaluaron el efecto de encapsular gránulos de fertilizante orgánico en combinación con HMA con película de alginato de calcio para mejorar la eficacia y estabilidad de micorrizas arbusculares (MA), especialmente en condiciones de sequía. Se desarrolló una técnica de recubrimiento de película para proteger las esporas de HMA de ambientes tóxicos y prolongar su vida útil en cultivos de papas.

Yooyongwench y su grupo de investigación [8] evaluaron el efecto de diferentes tipos de encapsulación para obtener más información sobre las aplicaciones de HMA, el efecto de diferentes tipos de encapsulaciones de HMA más fertilizante orgánico sobre las respuestas de contenido de clorofila y máxima eficiencia cuántica

fotosintética, contenido de fósforo total, contenido de prolina libre y caracteres de crecimiento de maíz cultivado con déficit hídrico.

Recientemente, Ying [27] investigó el efecto del HMA *Funneliformis mosseae* sobre las poliaminas (PA) presentes en las plantas de *Poncirus trifoliata*; en este estudio se demostró que esta especie de HMA facilitó la acumulación de precursores de putresina y cadaverina y aumentó la actividad de la PA sintasa en las plantas inoculadas para defenderse de la oxidación celular en respuesta a ser sometidas a estrés hídrico. Estos hallazgos sugieren que el HMA moduló la homeostasis de la PA de las plantas hospedadoras para hacer frente eficazmente al estrés hídrico y con ello se proporcionan pistas sólidas para comprender los mecanismos fisiológicos que otorgan mayor tolerancia al estrés hídrico en plantas inoculadas con HMA.

Estas investigaciones ofrecen un panorama positivo para el uso y manejo de HMA en la agricultura, sin embargo, aún es necesario llevar a cabo más investigaciones para seguir desarrollando metodologías que prolonguen la vida de estos microorganismos, faciliten su aplicación, faciliten su transporte, aumenten su vida de anaquel, así como su disponibilidad, y finalmente puedan ser una verdadera alternativa como biofertilizantes ante la cada vez mayor necesidad de obtener productos agrícolas en menor tiempo, en menor espacio y con menor consumo de agua.

5. Conclusiones

La presencia de HMA en cultivos vegetales ha demostrado efectos positivos significativos sobre la calidad de los suelos de cultivo, calidad de los productos agrícolas y en la reducción de consumo de agua. Es factible el uso de estos HMA como biofertilizante y potencialmente ser utilizados como herramientas para la restauración del medio ambiente. Por otro lado, el encapsulado de esporas de HMA es factible para inmovilizarlas y aumentar su tiempo de viabilidad para realizar aplicaciones en cultivos agrícolas que contribuyan a la regeneración de suelos de cultivo y un menor consumo de agua en la agricultura sustentable.

6. Referencias

- [1] A. Alarcón and R. Ferrera, “Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas,” *Tierra Latinoam.*, vol. 17, no. 3, pp. 178–191, 2010, [Online]. Available: <http://www.une.edu.pe/fan/docs/expoferia/PROPAGACION DE PLANTAS cuestiones propedeuticas.pdf>.
- [2] J. C. Luna Quecaño, A. M. Cutipa Limache, and N. Florida Rofner, “Efecto de la micorriza (*Glomus Intrarradices*), en el rendimiento de dos variedades de papa (*Solanum Tuberosum* L.) en el Altiplano de Puno–Perú,” *Rev. Investig. Altoandinas–J. High Andean Res.*, vol. 22, no. 1, pp. 58–67, Jan. 2020, doi: 10.18271/ria.2020.535.
- [3] S. Branco, A. Schauster, H. L. Liao, and J. Ruytinx, “Mechanisms of stress tolerance and their effects on the ecology and evolution of mycorrhizal fungi,” *New Phytol.*, vol. 235, no. 6, pp. 2158–2175, 2022, doi: 10.1111/nph.18308.
- [4] A. F. Figueiredo, J. Boy, and G. Guggenberger, “Common Mycorrhizae Network: A Review of the Theories and Mechanisms Behind Underground Interactions,” *Front. Fungal Biol.*, vol. 2, no. September, pp. 1–13, 2021, doi: 10.3389/ffunb.2021.735299.
- [5] M. Honrubia, “Las micorrizas: Una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años,” *An. del Jard. Bot. Madrid*, vol. 66, no. SUPPL. 1, pp. 133–144, 2009, doi: 10.3989/ajbm.2226.

- [6] C. Tatsumi et al., “Arbuscular Mycorrhizal Community in Roots and Nitrogen Uptake Patterns of Understory Trees Beneath Ectomycorrhizal and Non-ectomycorrhizal Overstory Trees,” *Front. Plant Sci.*, vol. 11, no. January, pp. 1–13, 2021, doi: 10.3389/fpls.2020.583585.
- [7] S. M. Carrillo-Saucedo, J. Puente-Rivera, S. Montes-Recinas, and R. Cruz-Ortega, “Mycorrhizas as a tool for ecological restoration,” *Acta Bot. Mex.*, vol. 129, 2022, doi: 10.21829/ABM129.2022.1932.
- [8] S. Yooyongwech et al., “Influence of different encapsulation types of arbuscular mycorrhizal fungi on physiological adaptation and growth promotion of maize (*Zea mays* L.) subjected to water deficit,” *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca*, vol. 47, no. 1, pp. 213–220, 2019, doi: 10.15835/nbha47111249.
- [9] S. L. Camargo-Ricalde, N. M. Montaña, C. J. De La Rosa-Mera, S. Adriana, and M. Arias, “Micorrizas: Una Gran Unión Debajo Del Suelo,” *Rev. Digit. Univ.*, vol. 13, no. 7, p. 19, 2012, [Online]. Available: <http://www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/art72.pdf>.
- [10] C. Manoharachary, I. K. Kunwar, and K. G. Mukerji, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi — Identification, Taxonomic Criteria, Classification, Controversies and Terminology*. 2002.
- [11] C. Averill, J. M. Bhatnagar, M. C. Dietze, W. D. Pearce, and S. N. Kivlin, “Global imprint of mycorrhizal fungi on whole-plant nutrient economics,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 116, no. 46, pp. 23163–23168, 2019, doi: 10.1073/pnas.1906655116.
- [12] M. T. Robledo et al., “Biofertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles,” *Terra Latinoam.*, vol. 35, no. 1, pp. 65–72, 2017.
- [13] J. E. Soto Sogamoso, J. E. Pinto Lopera, and E. E. Millán Rojas, “Micorrizas arbusculares y las técnicas de visión artificial para su identificación,” *Tecnológicas*, vol. 25, no. 54, p. e2348, 2022, doi: 10.22430/22565337.2348.
- [14] S. Laboratory, “New method to quantify arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) colonisation of plant roots,” University of Cambridge, 2021. <https://www.slcu.cam.ac.uk/news/new-method-quantify-arbuscular-mycorrhizal-fungi-amf-colonisation-plant-roots>.
- [15] Y. Wang et al., “Soil aggregation regulates distributions of carbon, microbial community and enzyme activities after 23-year manure amendment,” *Appl. Soil Ecol.*, vol. 111, pp. 65–72, 2017, doi: 10.1016/j.apsoil.2016.11.015.
- [16] D. Acosta-Peñaloza, “Aplicación de hongos micorrízicos arbusculares en la producción de plantas de selva baja caducifolia con fines de reforestación, 2019,” Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 2019.
- [17] M. M. Ramírez Gómez, A. M. Peñaranda Rolón, D. P. Serralde Ordóñez, and U. A. Pérez Moncada, *Producción y aplicación de hongos formadores de micorrizas en vivero de caña para panela. Manual práctico de uso*. 2020.
- [18] S. Schalamuk, M. Druille, and M. N. Cabello, “Hongos formadores de micorrizas arbusculares: Influencia de las prácticas agronómicas sobre su diversidad y dinámica de colonización,” *Rizosfera, Biodivers. y Agric. sustentable*, no. January, pp. 47–71, 2013.
- [19] J. M. Campaña and M. Arias, “Nanofibers as a Delivery System for Arbuscular Mycorrhizal Fungi,” *ACS Appl. Polym. Mater.*, vol. 2, no. 11, pp. 5033–5038, 2020, doi: 10.1021/acsapm.0c00874.
- [20] S. Yooyongwech, T. Samphumphuang, R. Tisarum, C. Theerawitaya, and S. Cha-Um, “Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved water deficit tolerance in two different sweet potato genotypes involves osmotic adjustments via soluble sugar and free proline,” *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 198, pp. 107–117, 2016, doi: 10.1016/j.scienta.2015.11.002.

- [21] L. Rosatto-Moda, R. de Mello-Prado, L. Castellanos-González, A. Reyes-Hernández, G. Caione, and C. N. Silva-Campos, “Solubilización de fuentes de fósforo asociadas a un compuesto orgánico enriquecido con biofertilizantes,” *Agrociencia*, vol. 48, no. 5, pp. 489–500, 2014.
- [22] N. Vassilev et al., “Formulation of Microbial Inoculants by Encapsulation in Natural Polysaccharides: Focus on Beneficial Properties of Carrier Additives and Derivatives,” *Front. Plant Sci.*, vol. 11, no. March, pp. 1–9, 2020, doi: 10.3389/fpls.2020.00270.
- [23] G. Cuenca, A. Cáceres, G. Oirdobro, Z. Hasmy, and C. Urdaneta, “Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales,” *Interciencia*, vol. 32, no. 1, pp. 23–29, 2007.
- [24] ISSUU Allabs, “Los hongos micorrizas arbusculares,” *Mejore el rendimiento de su capital biológico*, 2021. https://issuu.com/allabs/docs/capital_biologico_del_suelo_2021.
- [25] J. Tapia-Goné et al., “Caracterización e Identificación Morfológica de Hongos Formadores de Micorriza Arbuscular en Cinco Suelos Salinos del Estado de San Luis Potosí, México,” *Rev. Mex. Micol.*, 2008.
- [26] P. Pitaktamrong, J. Kingkaew, S. Yooyongwech, S. Cha-Um, and M. Phisalaphong, “Development of arbuscular mycorrhizal fungi-organic fertilizer pellets encapsulated with alginate film,” *Eng. J.*, vol. 22, no. 6, pp. 65–79, 2018, doi: 10.4186/ej.2018.22.6.65.
- [27] Y. N. Zou, F. Zhang, A. K. Srivastava, Q. S. Wu, and K. Kuča, “Arbuscular Mycorrhizal Fungi Regulate Polyamine Homeostasis in Roots of Trifoliate Orange for Improved Adaptation to Soil Moisture Deficit Stress,” *Front. Plant Sci.*, vol. 11, no. January, pp. 1–11, 2021, doi: 10.3389/fpls.2020.600792.

Guardianes lluviosos: abrazando el agua bajo la tierra

Colis Ramírez, Miguel¹, García Gaitán, Beatriz¹, Fuentes. Rivas, Rosa María² De la Rosa Gómez, Isaías¹, García Rivas, José Luis¹, Jiménez Núñez, María de la Luz¹

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Av. Tecnológico s/n, Col. Agrícola Bellavista, Metepec, 52149, Metepec, Estado de México, México.

² Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ingeniería, Cerro de Coatepec s/n, Ciudad Universitaria, Universitaria, 50110, Toluca de Lerdo, Estado de México, México.

mm21280010@toluca.tecnm.mx; bgarciag@toluca.tecnm.mx; beatrizgmx@yahoo.com

Resumen. En México, especialmente en zonas urbanas densamente pobladas, se enfrentan varios desafíos relacionados con la gestión del agua, como inundaciones, sobreexplotación de acuíferos y subsidencia del terreno. Los pozos de absorción de agua de lluvia son una de las soluciones que se plantean para abordar y contribuir a la solución de estos problemas de manera integrada y sostenible.

Palabras clave: inundaciones, acuífero, subsidencia, sobreexplotación, pozo de absorción.

1. Introducción

Los pozos de absorción de agua de lluvia representan una opción práctica dentro de las soluciones sostenibles implementadas para abordar los desafíos en la gestión del agua en México, en particular, en las zonas urbanas. A continuación, se detallan tres de los desafíos más importantes que enfrentan este tipo de pozos ante problemáticas como el abatimiento de inundaciones, la sobreexplotación de acuíferos, así como las subsidencias del terreno, explicando la función primordial de este tipo de pozos ante estas problemáticas.

a) Abatimiento de inundaciones

En zonas metropolitanas, donde hay encharcamientos e inundaciones por lluvias intensas, y debido a que el agua pluvial no logra infiltrarse a través del suelo de forma natural hacia los acuíferos, por factores como la reducción de áreas verdes, los pozos de absorción permiten la recarga artificial reduciendo la escorrentía superficial y aliviando la presión sobre los sistemas de drenaje urbano. Más aún, estas obras de ingeniería contribuyen a abatir considerablemente la cantidad de agua de lluvia que se pierde y contamina al mezclarse con aguas negras.

b) Sobreexplotación de acuíferos

En muchas áreas urbanas de México, la extracción excesiva de agua subterránea ha llevado a la sobreexplotación de los acuíferos. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) reportó para el año 2021 que 111 acuíferos de un total de 653 existentes en el país sufren de estrés hídrico por sobreexplotación; de estos acuíferos se obtiene aproximadamente el 58% de agua potable en el país [3, 4]. Los pozos de absorción pueden ayudar a recargar los acuíferos al permitir que el agua de lluvia y el exceso de agua superficial se filtren hacia el subsuelo, esto es, pueden contribuir a restablecer el equilibrio entre la recarga y la extracción, ayudando a reducir la sobreexplotación.

c) Subsistencia del terreno

De acuerdo con un reporte publicado por la revista *Science* [2], la extracción excesiva de agua subterránea se encuentra relacionada directamente con el nivel de subsidencia (hundimiento a gran escala) debido a la disminución del nivel del agua subterránea (nivel freático). Al recargar los acuíferos a través de pozos de absorción, se puede contribuir a frenar la subsidencia, elevando el nivel del agua subterránea y evitando que el suelo siga este proceso de hundimiento.

2. Fundamentos teóricos

Los pozos de absorción, o pozos de recarga, son estructuras de ingeniería diseñadas para captar e infiltrar a través del suelo el agua de lluvia, captándola y reteniéndola temporalmente [5]. Dicha agua al precipitarse en zonas urbanas pasa principalmente por superficies techadas y pavimentadas contaminándose con basura, aceites, químicos, bacterias, metales pesados, y algunas veces llega a mezclarse con aguas negras, lo que deteriora su calidad [6], por lo que antes de entrar al subsuelo los pozos deben contar con la infraestructura que permita la remoción de estos contaminantes antes de infiltrarse por los pozos de absorción.

La composición y diseño de los pozos de absorción varía según las condiciones locales, regulaciones y recomendaciones técnicas, pero debe enfocarse en la contaminación del agua que se infiltrará. Los pozos de absorción de agua meteórica están constituidos principalmente por una cámara de captación y/o cámara vertedora, un filtro o separador de sólidos, una cámara de almacenamiento, un relleno permeable generalmente formado por una capa de arena, una de grava y otra de piedra bola, una tubería de desbordamiento, geotextiles y membranas permeables, y una cubierta para evitar la entrada de materiales extraños, como se observa en la Figura 1.

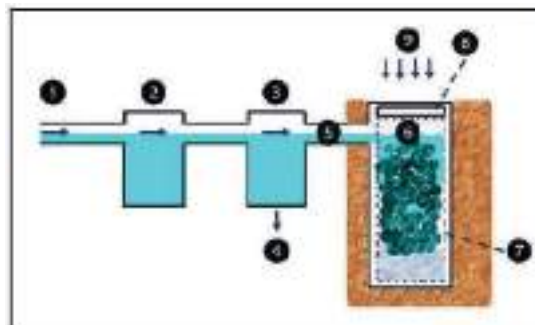


Figura 1. Elementos principales de un pozo de absorción. (1) Alimentación, (2) Decantador, (3) Cámara vertedora (opcional), (4) Rebase o vertedor, (5) Tubería de conexión, (6) Pozo, (7) Geotextil, (8) Cubierta, (9) Alimentación superficial (opcional)

[7]

Es importante para el diseño y construcción de este tipo de sistemas de recarga artificial (pozo de absorción) de agua pluvial considerar las condiciones específicas del sitio, como el tipo de suelo, la tasa de infiltración, el volumen de lluvia, concentraciones de contaminantes del agua que se infiltrará y las regulaciones locales al diseñar y construir pozos de absorción.

3. Desarrollo del trabajo

Primero, el dimensionamiento de un pozo de absorción necesita ser un traje a la medida donde deben tomarse en cuenta las condiciones geológicas del terreno en el que se planea construir, la calidad o nivel de contaminación del agua que se infiltrará (lo que determina la posibilidad de diseño de un sistema de pretratamiento), el volumen o cantidad de agua proveniente de la tormenta que se pretende infiltrar (determina las dimensiones del pozo), así como la medición del nivel freático.

Un pozo de absorción de agua pluvial plantea inicialmente una infraestructura simple y económica; consiste en una excavación de relativamente poca profundidad, la cual se revestirá con una pared de tabiques o en su defecto de una geomembrana y se rellenará principalmente de materiales como arena, grava y/o piedra bola, que funcionarán como filtro físico y biológico de relativa baja eficiencia, pero capaces de remover bajas concentraciones de contaminantes. En la Figura 2 se esquematizan las secciones de los principales materiales que conforman un pozo de absorción.

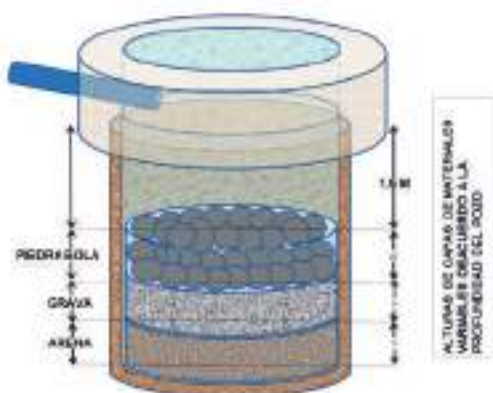


Figura 2. Pozo de absorción

4. Conclusiones

Los pozos de absorción, como guardianes o cuidadores de agua de lluvia, son estructuras que permiten recolectar, filtrar y absorber agua pluvial; entre sus principales beneficios está el contribuir a la conservación y cuidado del agua potable (de aquí que “abrazan”, como metáfora, indicando respeto, cuidado y comprensión a este valioso recurso), ya que favorecen la recarga de acuíferos y permiten mantener los niveles de agua subterránea; mejoran la calidad de agua por la filtración natural que ocurre al pasar a través del suelo; eliminan sedimentos y contaminantes antes de que lleguen a fuentes de agua subterránea o cuerpos de agua cercanos; minimizan los problemas causados por inundaciones y/o encharcamientos porque aminoran la escorrentía superficial; reducen la erosión del suelo al mermar la escorrentía superficial, y disminuyen la cantidad de agua que fluye a los sistemas de drenaje municipales, lo cual modera los costos de operación y mantenimiento.

5. Referencias

- [1] CAEM. (2022). Atlas de inundaciones XXVII. Recuperado 21 de marzo de 2022, de https://caem.edomex.gob.mx/sites/caem.edomex.gob.mx/files/files/AtlasInundaciones/Atlas2_021/Atlas%20XXVII_Ejecutiva-libro.pdf
- [2] Herrera-García, G., Ezquero, P., Tomás, R., Béjar-Pizarro, M., López-Vinielles, J., Rossi, M., . . . Ye, S. (1 de enero de 2021). Mapping the global threat of land subsidence. (Science, Ed.) Science, 371, 34-36. <https://doi.org/10.1126/science.abb8549>
- [3] SINA. (2021). Acuíferos: CONAGUA. Recuperado 04 de abril de 2023, de http://sina.conagua.gob.mx/sina/index_jquery-mobile2.html?tema=acuíferos
- [4] García, A. (2019). En México se sobreexplotan 105 acuíferos. El Economista. Recuperado 25 de julio de 2021, de <https://www.eleconomista.com.mx/estados/En-Mexico-se-sobreexplotan-105-acuíferos-20190322-0067.html>
- [5] SEMARNAT. (1997). NOM-003-CONAGUA-1996. Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación. Recuperado 17 de agosto de 2023, de <https://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/NOM-003-CONAGUA-1996.pdf>
- [6] González, F. (2014). Sistemas de Captación de Agua de Lluvia, Impluvium. (UNAM, Ed.) Recuperado 2023 de junio de 14, de <http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero01.pdf>
- [7] López, O., Fernández, D. S., & Martínez, M. R. (2016). Pozos de absorción: SAGARPA. Recuperado 10 de mayo de 2021, de <https://es.slideshare.net/demetriofernandez313/pozos-de-absorcin>

Dientes manchados: ¿no es falta de higiene! Adsorción, una solución

Jiménez Núñez María de la Luz¹, Zavala Arce Rosa Elvira¹, García Gaitán Beatriz¹

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Metepec, Estado de México, México.

mjimenezn@toluca.tecnm.mx

Resumen. En México, como en gran parte del mundo, existe una enfermedad denominada fluorosis, originada por consumir agua con alto contenido de iones fluoruro. La sobrepoblación y la necesidad de proveer agua potable hacen que la extracción del agua de pozo se haga a mayores profundidades, donde se encuentran gran cantidad de minerales que pueden disolverse y por lo tanto, el contenido de iones fluoruro es más alto; este problema originalmente presente solo en zonas desérticas se ha extendido al centro del país. Una opción para solucionar el problema de la fluorosis es remover los aniones del agua de consumo antes de su ingesta; existen diferentes técnicas de eliminación de estos iones fluoruro, entre ellas la adsorción. De la infinidad de materiales adsorbentes utilizados se seleccionó el hidróxido doble laminar de níquel aluminio (HDLNi-Al); se realizaron las cinéticas de adsorción en lote a partir de soluciones de concentración inicial de 5 mg/L, obteniendo una concentración final de 0.01 mg/L, la cual está muy por debajo del límite máximo permisible por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la normatividad mexicana, que es de 1.5 mg/L. Esto hace al HDLNi-Al un material adsorbente sumamente adecuado para este proceso, tanto por su capacidad de adsorción como por su método de síntesis y su costo accesible.

Palabras clave: fluoruros, adsorción, cinética, Hidróxido doble laminar.

I. Introducción

Muchos hemos conocido a personas que ocultan su sonrisa, a las que les apena que se asomen sus dientes, y se llevan la mano a la boca al hablar o sonreír. ¿Lo han notado? ¿Qué ocultan? ¿A qué se debe?

Estas personas tienen un daño permanente en el esmalte dental debido a una excesiva ingesta de agua con iones fluoruro durante su temprana niñez, antes de la erupción de su dentición. Algunos autores mencionan que desde el embarazo el feto se ve afectado por el exceso de iones fluoruro ingeridos por la madre; esto es una enfermedad endémica, denominada fluorosis, en varias partes del mundo (Figura 1), entre ellas México, y se

trata de una alteración en el esmalte que presenta motas de diferente color y que, de acuerdo con su gravedad, pueden variar desde una simple opacidad blanquecina y poco perceptible que no altera la estructura dentaria, hasta manchas oscuras que corroen e inclusive causan fracturas de las piezas dentales; se catalogan de acuerdo al índice de Dean, cuyos valores van del 1 al 6 (normal, cuestionable, muy leve, leve, moderada y severa) [2], como se muestra en la Figura 2.



Figura 1. Regiones del mundo con fluorosis endémica (azul), modificado de [1]

La severidad depende de la concentración de fluoruros en el agua potable (y cantidad ingerida de esta), temperatura ambiental, edad, altitud, fluoración de la sal y pastas dentales, entre otros factores.



Figura 2. Índice de Dean; severidad de la fluorosis [2]

¿Cuál es la concentración perjudicial? La Organización Mundial de la Salud (OMS) [3] y la normatividad mexicana (NOM127-SSA1-2021) [4] marcan 1.5 mg/L como límite máximo permisible de concentración de iones fluoruro en el agua para consumo humano, cantidad superada en muchos lugares de la república mexicana, como se ve en la Figura 3 [5].



Figura 3. Concentración de iones fluoruro en las regiones de México [5]

A todo esto, *¿qué es el fluoruro?*

El fluoruro está presente en algunas aguas naturales, y a menudo en granito o piedra caliza en su forma gaseosa y en la fluorita de forma cristalina.

En México, gran parte de la población utiliza como agua de consumo la extraída de pozos profundos, por lo tanto, trae consigo gran cantidad de compuestos químicos, entre ellos los que contienen fluoruro. Esto se presenta principalmente en regiones semidesérticas o desérticas y ante la explosión demográfica; la necesidad de proveer a la población de agua potable hace que se extraiga a mayor profundidad, donde se encuentran gran cantidad de minerales que pueden disolverse y, por lo tanto, contiene concentraciones más altas de iones fluoruro.

Se ha presentado una visión de lo que es la fluorosis dental, su origen, características y clasificación, pero ¿cuál es la solución a ese problema de salud pública?

Lo mejor es evitar la ingestión de estos iones fluoruro eliminándolos del agua previamente a su consumo. Existen diferentes técnicas de remoción, entre ellas la adsorción, ampliamente utilizada por su alta selectividad, alta eficiencia y fácil operación. Además, por la diversidad de materiales adsorbentes que se pueden utilizar; algunos de ellos son alúmina activada, bauxita, mineral de manganeso, montmorillonita, arcilla, hidroxiapatita, zeolita y sus productos modificados; el carbón activado hecho de biomasa residual como la caña, cáscaras de arroz, paja, cáscara de teca y algas; extracto de hojas de *Dicerocaryum eriocarpum* (DE); biopolímeros como alginato de sodio, pectina, quitosano [6]-[11], e hidróxidos dobles laminares [12], estos últimos empleados en esta investigación.

2. Fundamentos teóricos

2.2.1 Adsorción

La adsorción es un proceso por medio del cual se extrae un material de una fase líquida o gaseosa y se concentra en la superficie de otra fase generalmente sólida.

Cinética de adsorción Describe la velocidad de adsorción de un contaminante líquido o gas sobre la superficie del adsorbente (un sólido generalmente). Determina el tiempo en que se alcanza el equilibrio entre las fases e identifica si el proceso de adsorción es rápido o lento para determinar la viabilidad de uso como adsorbente para ese contaminante. Para identificar los mecanismos que controlan la velocidad del proceso de adsorción se usan algunos modelos matemáticos, como el de Lagergren (pseudo primer orden), el de Ho (pseudo segundo orden) y el de Elovich, entre otros.

2.2.1 Modelo de pseudo primer orden

Este modelo matemático supone que la tasa de cambio de la absorción de soluto con el tiempo es directamente proporcional a la diferencia en la concentración de saturación y la cantidad de absorción con el tiempo; este modelo se utiliza generalmente para procesos de fisisorción y adsorbentes homogéneos.

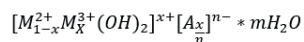
2.2.2 Modelo de pseudo segundo orden

Este modelo se basa en el supuesto de que el paso limitante de la velocidad de adsorción es la quimisorción, es decir, que la capacidad de adsorción es proporcional al número de centros activos del adsorbente.

2.3 Hidróxidos Dobles Laminares (HDL)

Recientemente han sido muy empleados los HDL como sorbentes; también se les conoce como hidrotalcitas. Este auge se debe a su versatilidad sorbente, facilidad de manipulación, variedad de combinaciones de metales divalente y trivalentes en su síntesis, lo que da lugar a diferentes tipos de material, y sobre todo a su bajo costo. Se emplean además de la adsorción en catálisis, intercambio iónico, en las industrias farmacéutica, fotoquímica

y electroquímica. Los HDL están compuestos estructuralmente de un metal divalente (M^{2+}) y otro trivalente (M^{3+}), cuya fórmula general es:



Donde el valor de x corresponde a:

$$x = \frac{M^{3+}}{M^{2+} + M^{3+}}$$

Este parámetro debe tener valor entre 0.20-0.4. [13].

3. Desarrollo del trabajo

El hidróxido doble laminar níquel aluminio (HDLNi-Al) se sintetizó por el método de coprecipitación a partir de los nitratos de ambos metales y las soluciones básicas de hidróxido de sodio y potasio; ya seco, molido y tamizado, el material se caracterizó por Difracción de rayos X (DRX) y se verificó su estructura de HDL, concordando con [14]. También se determinó su área específica $28.48 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (Metodología BET) y se obtuvo su morfología y su análisis químico elemental por medio de microscopia electrónica de barrido (MEB-EDS. Los valores de R y x calculados con información del EDS fueron de 1.7 y 0.3699 respectivamente, lo que indica que se obtuvo un material tipo hidrotalcita (HDL).

Para la cinética de adsorción, ya teniendo la certeza de haber obtenido al HDLNiAl, se pusieron en contacto 0.05 g del material con 5 ml de solución de 5 mg F/L en tubos de polipropileno y se mantuvieron en agitación a 100 rpm, para garantizar la homogeneidad del sistema y eliminar el riesgo de fractura de las partículas, esto a temperatura de 20°C durante los tiempos de contacto de 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 120, 240, 360, 480, 720, 960 y 1440 minutos; transcurridos estos, se separaron las soluciones del sólido y se les determinó su concentración final de iones fluoruro.

La curva de la cinética muestra el tiempo de equilibrio, que fue de 45 min. Los datos experimentales se ajustaron mejor al modelo de pseudo segundo orden (Figura 4), con un coeficiente de determinación de 0.9879 (R^2) y obteniendo una constante de velocidad de 0.566 mg/g min , comparable con lo obtenido [14] e indicando un fenómeno de quimisorción en materiales heterogéneos.

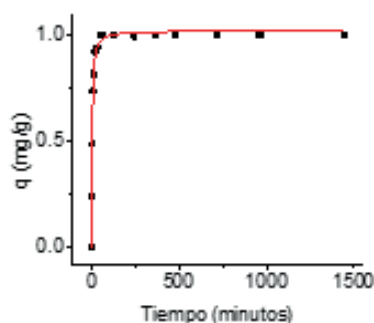


Fig. 4. Ajuste de datos experimentales de cinética de adsorción al modelo de pseudo segundo orden

4. Conclusiones

El HDLNi-Al es un material adsorbente adecuado para la remoción de iones fluoruro de soluciones tanto por su capacidad de adsorción como por su método de síntesis y su costo accesible. Considerando los resultados experimentales obtenidos, y con el objetivo de mejorar y complementar la adsorción de iones fluoruro de agua potable, se recomienda realizar pruebas de adsorción con agua de pozo proveniente de zonas afectadas por fluorosis.

5. Referencias

- [1] Iruretagoyena M., El fluoruro en el agua: Una apreciación global, Salud dental para todos https://www.sdpt.net/SAP/fluoruro_en_el_agua.htm [Acceso enero 03 2024]
- [2] Kumar JV, Swango PA, Opima PN, Green EL, Dean's fluorosis index: an assessment of examiner reliability. *J Public Health Dent.* 60(1): pp. 57-59. (2000).
- [3] World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum. (2017).
- [4] Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua., SECRETARÍA DE SALUD, Estados Unidos Mexicanos; DOF, 02 de mayo 2022.
- [5] M.T. Alarcón Herrera, Daniel A. Martín-Alarcon, Mélida Gutiérrez, Liliana Reynoso Cuevas, Alejandra Martín, Mario A. Olmos Márquez, Jochen Bundschuh, Co-occurrence, possible origin, and health-risk assessment of arsenic and fluoride in drinking water sources in Mexico: Geographical data visualization *Science of The Total Environment*, Volume 698, pp. 134-168 (2020).
- [6] Zhao, M.; Wang, Q.; Krua, L.S.N.; Yi, R.; Zou, R.; Li, X.; Huang, P, Application Progress of New Adsorption Materials for Removing Fluorine from Water. *Water*, V 15, pp. 646. (2023).
- [7] Wei Y, Wang L, Li H, Yan W and Feng J, Synergistic Fluoride Adsorption by Composite Adsorbents Synthesized From Different Types of Materials—A Review. *Front. Chem.* V 10, pp.900660. (2022).
- [8] Shaomeng Huang, Minglei Hu, Dan Li, Liping Wang, Can Zhang, Kang Li, Qiongqiong He, Fluoride sorption from aqueous solution using Al(OH)₃-modified hydroxyapatite nanosheet, *V 279. 279(1-241):118486* (2020).
- [9] Suja George, Dhiraj Mehta, Virendra Kumar Saharan, Preparation of novel adsorbent (marble hydroxyapatite) from waste marble slurry for ground water treatment to remove fluoride, Chapter 29 *Handbook of Nanomaterials for Wastewater Treatment*, Elsevier, pp. 899-927 (2021).
- [10] Mukhethwa P. Mannzhi, Joshua N. Edokpayi, Fluoride sorption using Al and Mg modified *Dicerocaryum eriocarpum* leaves mucilage, *Environmental Technology & Innovation*, V 30, pp (2023).
- [11] Wei Yifei, Wang Li, Li Hanbing, Yan Wei, Feng Jiangtao, Synergistic Fluoride Adsorption by Composite Adsorbents Synthesized From Different Types of Materials—A *Frontiers in Chemistry* V 10, pp. 1-23 (2022).
- [12] Nazrizawati Ahmad, Ezza Faridha, Nur Alyaa Kamal and Mustapha Dib, Fluoride removal in drinking water using layered double hydroxide materials: Preparation, characterization and the current perspective on IR4.0 technologies, *Journal of Environmental Chemical Engineering* V 11 (3) pp. 110305 (2023).
- [13] Cavani, F., Trifiro, F., & Vaccari, A. Hydrotalcite-type anionic clays: Preparation, properties and applications. *Catalysis today*, 11(2), pp. 173-301 (1991).
- [14] Obalova, L., Valaskova, M., Kovanda, F., Study of the Catalytic Activity of Calcined Ni/Mg/Al (Mn) Hydrotalcites for N₂O Descomposition *Chem. Pap.* 58 (1) pp. 33-40. (2004).



**Aportaciones recientes a la ciencia de frontera y a la
ingeniería: un espacio para la divulgación científica**

se terminó de imprimir en noviembre de 2024

en los talleres gráficos de

de Amate Editorial México S.A.S. de C. V.

Prisciliano Sánchez 612, Colonia Centro

Guadalajara, Jalisco

Tel.: 3336120751 / 3336120068

amateditorial@gmail.com

www.amateditorial.com.mx

Edición al cuidado del autor