

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(Organizador)

Ciencias exactas y de la tierra: teorías y principios

 Atena
Editora
Año 2023



2

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(Organizador)

Ciencias exactas y de la tierra: teorías y principios

 Atena
Editora
Ano 2023



Editora chefe	
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira	
Editora executiva	
Natalia Oliveira	
Assistente editorial	
Flávia Roberta Barão	
Bibliotecária	
Janaina Ramos	
Projeto gráfico	
Camila Alves de Cremo	2023 by Atena Editora
Ellen Andressa Kubisty	Copyright © Atena Editora
Luiza Alves Batista	Copyright do texto © 2023 Os autores
Nataly Evilin Gayde	Copyright da edição © 2023 Atena
Thamires Camili Gayde	Editora
Imagens da capa	Direitos para esta edição cedidos à
iStock	Atena Editora pelos autores.
Edição de arte	Open access publication by Atena
Luiza Alves Batista	Editora



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

- Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^a Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^a Dr^a Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^a Dr^a Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^a Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^a Dr^a Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof^a Dr^a Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof^a Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^a Dr^a Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Ciencias exactas y de la tierra: teorías y principios 2

Diagramação: Ellen Andressa Kubisty
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
C569	Ciencias exactas y de la tierra: teorías y principios 2 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.
	Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-1628-9 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.289232408
	1. Ciencias exactas. 2. Ciencias de la tierra. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.
	CDD 509
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

PRESENTACIÓN

El e-book: “Ciencias exactas y de la terra: teorías y principios 2” consta de doce capítulos de libros, que se dividen em três temas principais: *i)* uso de metodologias activas y herramientas tecnológicas em el proceso de aprendizaje de las ciências y las matemáticas; *ii)* medio ambiente y sostenibilidad y; *iii)* uso de técnicas de caracterización para el desarrollo de nuevos compostos.

Los capítulos 1 al 5 presentaron trabajos que buscaron investigar: *i)* el uso de “cápsulas educativas” como herramienta de innovación pedagógica associada a las tecnologias de formación y comunicación (TIC), com el fin de posibilitar um proceso de enseñanza-aprendizaje más significativo y contextualizadoen el área de matemáticas en um curso universitário; *ii)* el uso del software MAPLE como metodología activa em el proceso de enseñanza de las ciências básicas em cinco cursos de pregrado, posibilitando um mejor desarrollo em el proceso lógico-abstrato, resolución y razonamiento de problemas em física y matemáticas; *iii)* propuesta de uma metodología activa basada em habilidades genéricas de “Comunicación oral y escrita” em um curso de álgebra para estudiantes de diferentes carreras de ingeniería de la Universidad Católica de Temuco, teniendo em cuenta que los ingenieros de hoy em dia necesitan dichas habilidades para formuarse com mayor calidad; *iv)* uso de herramientas tecnológicas (Youtube y Zoom) em el proceso de enseñanza-aprendizaje, de forma remota, durante la pandemia del COVID-19, possibilitando la continuidad del proceso de aprendizaje com calidad durante el período de pandemia; *v)* implementación biométrica móvil, com e fin de contribuir a la calidad de la educación y mejorar la eficiencia de la información em términos de veracidad.

Los capítulos 6 al 8 buscaron investigar: *i)* desarrollo de um proyecto para una mejor gestión de los residuos sólidos, por catástrofes naturales (tsunami y otros) em la franja costera ubicada em el distrito de Marcona, província de Nasca- Perú; *ii)* análisis de los resultados de la estimación de vapor de agua em la atmosfera em la región de la Ciudad de México, integrado com la altitud que referencia la tasa de precipitación de vapor de agua y; *iii)* investigación del área natural de Salitre, bosque tropical seco, como potencial para el desarrollo del ecoturismo y preservación de áreas de áreas protegidas.

Finalmente, los capítulos 9 al 12 presentam trabalhos que investigaron el desarrollo y caracterización de nuevos materiais, incluyendo: *i)* montaje experimental para caracterizar tejidos biológicos a partir de fuentes derivadas de mediciones de fluorescência com LASER y LED, com respuesta fenomenológica medida por fotômetro de celda de Silício; *ii)* síntesis y caracterización del copolímero de estireno-vinil tetrazol (StVTz) a partir del copolímero de estireno-co-acrilonitrilo y caracterizado por FT-IR y 1H NMR; *iii)* encapsulación de nanoarcilla de paligorskita y polifosfato de amônio. Los resultados apuntan a un aumento de

PRESENTACIÓN

la estabilidad térmica e propiedades ignífugas; iv) descripción de la metodología para la obtención de nanocomuestos de polietileno de alta densidad (HDPE) utilizando grafeno modificado con fenol. Los nanocomuestos se caracterizaron por Espectroscopía Infrarroja Transformada de Fourier (FT-IR), Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), Difracción de rayos X (XRD) y propiedades de tensión.

iv) descrição de metodologia para a obtenção de nanocompostos de polietileno de alta densidade (HDPE) utilizando grafeno modificado com fenol. Os nanocompostos foram caracterizados por Infravermelho por Transformada de Fourier (FT-IR), Microscopia eletrônica de varredura (MEV), Difração de Raios (DRX) e propriedades de tensão.

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

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

CAPÍTULO 1	1
CÁPSULAS MATEMÁTICAS. UN COMPLEMENTO PEDAGÓGICO PARA APRENDER MATEMÁTICAS UNIVERSITARIAS	
María Dolores Donjuan Morales	
Alberto Pierdant Rodríguez	
Jesús Ramírez Rosales	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2892324081	
CAPÍTULO 2	13
EXPERIENCIA DE AULA CON USO DE MAPLE EN CIENCIAS BÁSICAS PARA ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL INFORMÁTICA EN SUS HORAS MIXTAS Y AUTÓNOMAS	
Soledad Yáñez Arriagada	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2892324082	
CAPÍTULO 3	22
LAS CIENCIAS BASICAS CONSTRIBUYENDO A UN INGENIERO DE CALIDAD EN SU FORMACION POR COMPETENCIA	
Carmen Soledad Yáñez Arriagada	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2892324083	
CAPÍTULO 4	27
APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS YOUTUBE Y ZOOM EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DE QUINTO GRADO DE LA ESCUELA DE EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA "GRAL. MANUEL SERRANO RENDA" DEL CANTÓN EL GUABO	
Shanny-Mariuxi Montalvan-Chamba	
María-Petronila Juarez-Illescas	
Juan-Pablo Ureña-Torres	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2892324084	
CAPÍTULO 5	42
DESARROLLO DE UN SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN BIOMÉTRICO MÓVIL PARA LA TOMA DE ASISTENCIAS DE LOS PROFESORES DE LA UNIVERSIDAD AMERICANA DE ACAPULCO	
Eduardo Rodriguez Rayo	
Luis Ramos Baños	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2892324085	
CAPÍTULO 6	54
LA EVALUACIÓN DE RIESGOS DE ACOGIDA PARA EL MEJORAMIENTO DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN MARCONA - NAZCA - ICA 2022	
Saavedra Silva Bertha Ofelia	
Tincopa Alfaro Julio César	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2892324086	

CAPÍTULO 7**60**

THE PRECIPITABLE WATER VAPOR COLUMN OF THE ATMOSPHERE ON THE REGION ABOVE MEXICO CITY

Palacios-Fonseca Juan

Mendoza-Torres J. Eduardo

Colín-Beltrán Edgar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2892324087>

CAPÍTULO 8**69**

CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN DEL ÁREA NATURAL EL SALITRE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SENDERO INTERPRETATIVO

Osmel Alberto Sánchez

María Fernanda Gavidia Guerrero

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2892324088>

CAPÍTULO 9**79**

DISEÑO, ENSAMBLAJE Y PUESTA EN MARCHA DE UN MONTAJE EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACIÓN ÓPTICA EN TEJIDOS BIOLÓGICOS

Danielle Viviana Ochoa Arbeláez

Efraín Solarte Rodríguez

José Oscar Gutiérrez Montes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2892324089>

CAPÍTULO 10.....**88**

DESARROLLO DE COPOLÍMEROS DE TETRAZOL - SÍNTESIS Y APLICACIÓN EN ELECTROLITOS

Luciano da Silva

Eduardo Ramírez Vargas

Roberto Benavides

Diana Morales-Acosta

Juan Guillermo Martínez-Colunga

Karla Fabiola Rodriguez Ramírez

Orlando Castro Reyna

Rachel Faverzani Magnago

Adriano da Silva

Saúl Sanchez-Valdes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.28923240810>

CAPÍTULO 11**108**

INFLUENCIA DE LA PALIGORSKITA Y EL POLIFOSFATO DE AMONIO ENCAPSULADOS CON POLIUREA SOBRE LA INFLAMABILIDAD Y LAS CARACTÉRISTICAS MECÁNICAS DE LOS COMPUESTOS DE MEZCLA PLA/EVA

J.A. Rodriguez-Gonzalez

S. Sanchez-Valdes

E. Ramirez-Vargas

L. da Silva

L.F. Ramos-de Valle

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.28923240811>

CAPÍTULO 12..... 126

POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD FUNCIONALIZADO CON FENOL COMO COMPATIBILIZANTE DE NANOCOMPUESTOS DE POLIETILENO/ DE ALTA DENSIDAD (HDPE) /GRAFÉNO PARA MEJORAR LA ADHESIÓN INTERFACIAL Y PROPIEDADES MECÁNICA

A. Zapata-Domínguez

J. G. Martínez-Colunga

S. Sanchez-Valdes,

L. da Silva

L.F. Ramos-de Valle

J. A. Rodriguez-Gonzalez

A. B. Espinoza-Martinez

E. Ramírez-Vargas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.28923240812>

SOBRE EL ORGANIZADOR 146

ÍNDICE REMISSIVO 147

CAPÍTULO 1

CÁPSULAS MATEMÁTICAS. UN COMPLEMENTO PEDAGÓGICO PARA APRENDER MATEMÁTICAS UNIVERSITARIAS

Data de aceite: 02/08/2023

María Dolores Donjuan Morales

Profesora-investigadora del Departamento de Política y Cultura, UAM-X.

Alberto Pierdant Rodríguez

Profesor-investigador del Departamento de Política y Cultura, UAM-X.

Jesús Ramírez Rosales

Profesor-investigador del Departamento de Política y Cultura, UAM-X.

“Aprendizaje es el proceso por el que se crea conocimiento mediante la transformación de la experiencia.”

D. Kolb, 1984

RESUMEN: Enseñar matemáticas en el aula universitaria, en forma remota o en línea es para un profesor de matemáticas todo un reto. A lo largo de nuestra experiencia docente hemos desarrollado diversos métodos y empleado diversos materiales pedagógicos que nos han permitido mejorar con el tiempo este proceso; desde el uso del

pizarrón verde y el gis blanco -o los gises de colores-, el pizarrón blanco y los plumones, hasta las presentaciones presenciales en el paquete Power Point o en forma remota en el Internet (hoy en día, 2020-2021).

Todas estas herramientas de enseñanza-aprendizaje permiten complementar el sistema de enseñanza de la UAM-X basado en un modelo constructivista Piagetiano, en el que el estudiante universitario aprende una disciplina profesional mediante la solución de problemas de la realidad en el que están o podrían estar las matemáticas. Las tecnologías de la información y comunicación actuales permiten desarrollar nuevas herramientas pedagógicas.

Las cápsulas matemáticas para ciencias sociales son nuestra propuesta de enseñanza-aprendizaje en esta disciplina. Una cápsula matemática es un video educativo en Internet de esta temática de 15 a 20 minutos que complementa el conocimiento adquirido por un estudiante en una clase presencial o en una clase remota de matemáticas universitarias.

En este trabajo mostramos las primeras cápsulas matemáticas elaboradas, las que continuamente estaremos evaluando y mejorando para que el estudiante universitario obtenga un aprendizaje

significativo de esta ciencia.

INTRODUCCIÓN

Una “cápsula educativa”, es una herramienta de innovación pedagógica que integra el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la elaboración y producción de recursos o contenidos digitales educativos, con el propósito de difundir contenidos temáticos cortos, que faciliten el proceso de enseñanza-aprendizaje; logrando con ello un aprendizaje significativo sobre un tema o área específica de conocimiento (Vidal L. et. al.,2019).

O bien, las “cápsulas educativas” se pueden definir, de manera general, como “contenidos cortos en donde se explica de forma descriptiva un concepto clave en educación” (Palabra Maestra, 2019).

También podrían definirse como “entidades de información digital que puede presentarse en diferentes formatos y utilizarse como recurso en actividades educativas, que agrupa un conjunto de unidades de aprendizaje, objetos de aprendizaje y recursos digitales coherente, jerárquicamente articulados y secuenciados” (Colombia Aprende-Cursos Digitales, 2019).

Si consideramos los conceptos anteriores, una cápsula matemática universitaria será un segmento educativo de información asíncrona complementaria a un proceso presencial de enseñanza-aprendizaje sobre un tema de matemáticas específico con dos objetivos principales: difundir información actualizada sobre el tema de matemáticas y tratar de obtener del estudiante un aprendizaje significativo de éste.

En la siguiente sección mostraremos dos posibles metodologías a emplear en su elaboración.

Propuestas metodológicas

¿Qué metodología debe emplearse para elaborar una cápsula matemática?

No hay todavía una metodología en la literatura que permita elaborar con cierto nivel de éxito un conjunto de cápsulas matemáticas para los estudiantes de nivel universitario. Al momento, existen varias experiencias educativas en los niveles de educación básica y media superior, y muy pocas a nivel superior. Partiremos de tres experiencias probadas, para tal vez, poder establecer una metodología de elaboración más centrada en las matemáticas aplicadas que impartimos en Ciencias Sociales en la UAM-Xochimilco.

En Chile, Martínez (2020) propone elaborar una cápsula educativa a través de los pasos siguientes.¹

1. Planear el objetivo de aprendizaje a tratar en un tiempo máximo de entre 10 y 20 minutos.

¹ Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=vGJ9BjMwE3A>

2. Seleccionar el método y las herramientas que permitan desarrollar el objetivo de aprendizaje. Por ejemplo, la cápsula se puede elaborar mediante:

- Presentación del tema en primer plano. Es decir, el estudiante debe observar al profesor durante la presentación – esto humaniza la presentación–.
- Presentaciones del tema que incluya videos relacionados.
- Presentaciones del tema con ligas de información específica en internet.

3. Compartir la cápsula con el estudiante.

4. Comprobar el aprendizaje.

Para Villegas (2021) una cápsula digital es un “recurso digital acotado con contenido multimedial en formato web, que suele ser parte de una secuencia mayor. Sigue la lógica del microlearning” y debe contener:

1. Una portada, donde se especifique el tema a tratar.
2. Introducción al tema o bien los conocimientos previos requeridos para este tema.
3. Secciones de contenido que permitan tratar el objeto de estudio.
4. Proponer una actividad y/o una evaluación y/o una tarea sobre el tema de estudio.
5. Elaborar una síntesis y conclusión del tema.

En el Manual de Producción de Video-cápsulas Educativas (2019) de la Facultad de Estudios Superiores Aragón de la UNAM se indica que “las metodologías de enseñanza son acciones mediadas que favorecen el desarrollo de habilidades, procesos y estructuras de conocimiento. Metafóricamente, la mediación se reconoce como andamiaje; es decir, cumple el papel de soporte que permite avanzar en el proceso de construcción del saber, construcción que compromete por igual a todos los agentes educativos”, las video-cápsulas serán por lo tanto un nuevo andamiaje que permita construir el conocimiento.

En este manual se propone para su elaboración un índice que bien puede interpretarse como una metodología para su elaboración. Hemos tomado de éste los puntos siguientes.

1. Plan de producción.

- Elección del tema
- Formato o género
- Duración
- Público meta
- Investigación del tema
- Guion
- Fuentes de consulta

2. Producción

- Sinopsis (breve resumen del contenido)
- Agenda (fechas de elaboración)
- Presupuestos
- Guion o escaleta

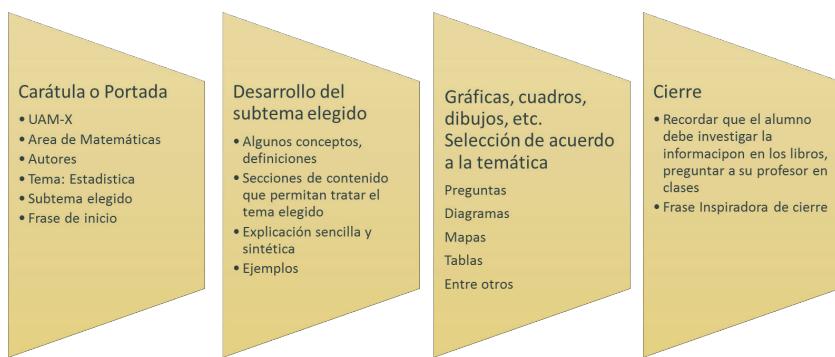
Metodología que hemos estado utilizando en un sistema modular, que es el que tenemos en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco:

Metodología ad hoc al sistema modular



Fuente: Kolb, D.A. (1984) "El aprendizaje experiencial la experiencia como fuente de aprendizaje y desarrollo". Englewood Cliffs. NJ: Prentice Hall

Contenido de las Capsulas



RESULTADOS

Un análisis de estas primeras propuestas de elaboración, nos han permitido elaborar como ejemplos las cápsulas matemáticas siguientes, las cuales hasta esta fecha tenemos

y seguimos trabajando en ellas:

Canal de YouTube donde se encuentran todos los videos de las capsulas.

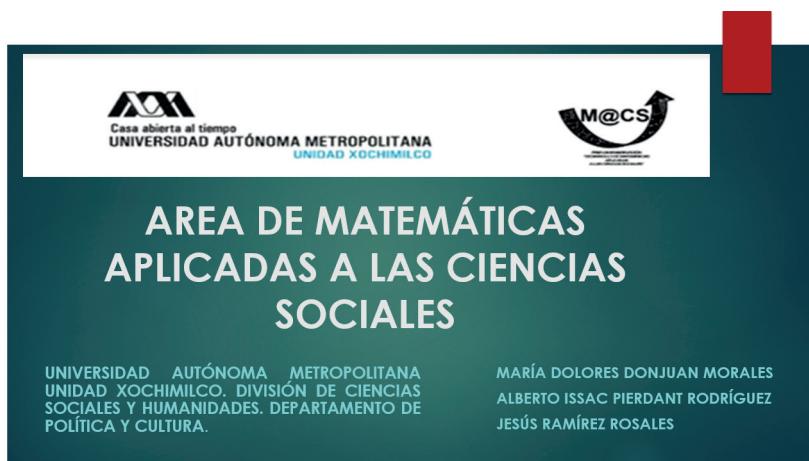
https://youtube.com/playlist?list=PLedsIS5m1zgE3AI_yvN5OjoAmwYUtgVE

Se abrió un canal el YouTube para poner los videos y obtener las URL's de los mismos, ya que cada video tiene un peso mayor a 25 MB, así se puede manejar fácilmente, abrir y compartir.

1. Introducción a capsules

<https://www.youtube.com/watch?v=6fx7xN2EiWc&t=22s>

Se hizo esta introducción a manera de explicación de las cápsulas para tener claridad en los objetivos. A continuación se muestran algunas láminas de ésta.



Crear capsules de la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas en Ciencias Sociales de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X) a través de videos temáticos, con un contenido sencillo para los alumnos que cursan las diferentes módulos de matemáticas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1) Qué los alumnos tengan una herramienta de apoyo tecnológica en su aprendizaje de las matemáticas que puedan revisar en su tiempo y ritmo de trabajo.
- 2) Hacer videos para subir en YouTube con la herramienta de power point y voz del docente de matemáticas. Donde la liga se encuentre en la página del Área de Matemáticas aplicadas a las Ciencias Sociales de la DCSH.

Consideraciones

Daremos inicio con Estadística de acuerdo al programa actual aprobado, de ahí seguiremos con los demás programas, eligiendo subtemas, con el apoyo de los miembros del Área de Matemáticas para que todos participen en los diferentes programas de matemáticas que se dan en las Licenciaturas de la División de Ciencias Sociales y Humanidades.

Consideraremos que algunos temas pueden ser de utilidad también para otros profesionistas que deseen revisar dichas capsulas.

Es importante tomar en cuenta los diferentes estilos de aprendizaje: visual, auditivo o kinestésico. De acuerdo a estos cada alumno aprende de forma diferente. No ahondaremos aquí sobre esto, ya hay variada literatura al respecto.

2. CAPSULA 1: INTRODUCCIÓN A LA ESTADÍSTICA

<https://youtu.be/NpYrNCxrdFs>

En esta cápsula se pretende dar los primeros conceptos de la Estadística para que el estudiante se familiaricen con el proceso de investigación y observe como puede utilizar esta herramienta matemática, para qué le sirve, hacerse preguntas, así como revisar los principales usos y evitar en lo posible los abusos que se hacen de ella. Por otro lado, se pretende que éste revise los diferentes libros de la bibliografía que se les proporciona en el Programa de Estadística Descriptiva.

Algunas láminas:

Introducción a la Estadística

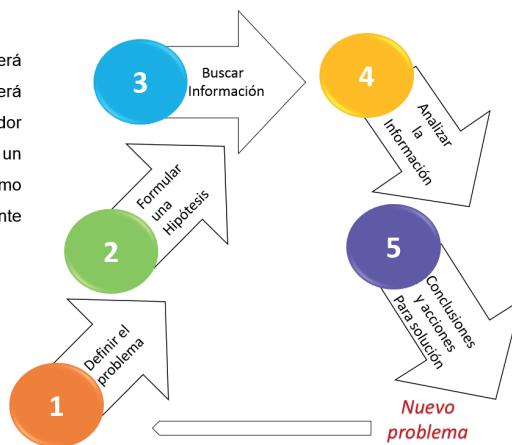
CÁPSULA I



Las Matemáticas en las Ciencias Sociales, como en otros campos científicos, pueden ser la herramienta fundamental para adquirir y consolidar el conocimiento que permita solucionar los problemas que hemos planteado, y otros que puedas plantear.



¿Entonces, cuál será el proceso que deberá seguir un investigador para resolver un problema social como los anteriores planteados?



¿Para qué sirve la estadística?

- ✓ Como herramienta de trabajo, evaluación de los datos con los que se ha de trabajar en diferentes campos.
- ✓ En la solución de problemas, para revelar alguna información, aplicando métodos estadísticos a los datos observados.
- ✓ En la investigación teórica, organizar la información disponible, observaciones en circunstancias determinadas.
- ✓ Comprensión y utilización de la investigación, comprensión de los informes.
- ✓ Otros,



3. CAPSULA 2: VARIABLES

<https://youtu.be/ra8sy81-JyE>

En la Cápsula 2, identifica la importancia de los datos en la investigación. Presentamos algunos conceptos básicos que se manejan en Estadística, los introducimos a los diferentes tipos de variables que se pueden encontrar, lo que le permitirá discernir entre ellas para emplear las más adecuadas en su investigación.

Algunas láminas de esta cápsula:

Estadística: Variables

Capsula 2



Valor

Un **valor** es cada uno de los distintos resultados que se pueden obtener en un estudio estadístico. Si lanzamos una moneda al aire 5 veces obtenemos dos valores: cara y cruz.

Dato

Un **dato** es cada uno de los valores que se ha obtenido al realizar un estudio estadístico. Si lanzamos una moneda al aire 5 **veces** obtenemos 5 **datos**: cara, cara, cruz, cara, cruz.

VARIABLES

DEFINICIÓN DE VARIABLE:

Una **variable estadística** es cada una de las **características o cualidades** que poseen los individuos de una población.



4. CAPSULA 3: PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS

<https://youtu.be/NDQHeGkAPpk>

En la Cápsula 3 se revisan algunos de los diferentes tipos de investigación. Se define el problema. Deberán plantearse una o varias preguntas de investigación, así como definir las hipótesis, mostrar algunos ejemplos y que ellos mismos se planteen otros con el acompañamiento del profesor.

Algunas láminas de este tema:

Estadística: Pregunta de Investigación e hipótesis

Capsula 3

TIPOS DE INVESTIGACIÓN SEGÚN Manual de Frascati (OCDE)

- **INVESTIGACIÓN BÁSICA:** trabajos experimentales o teóricos que se emprenden fundamentalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada.



Definir el problema

- Entonces, el proceso que deberá seguir un investigador para resolver un problema: es definir el problema



Definir el problema

Una de las partes fundamentales del proceso consiste en enunciar, de manera adecuada, el problema de investigación.

Criterios de buenos problemas.

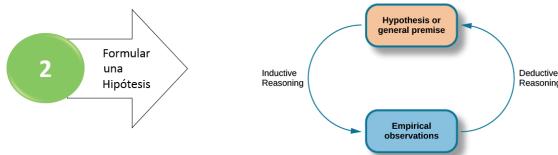
Debe:

- Expresar una relación entre dos o más variables.
- Enunciarse en forma de pregunta.
- Tener la posibilidad de probar las relaciones que enuncia.

Ejemplo:

¿Qué desempeño tienen los alumnos en la carrera que cursan?

Hipótesis



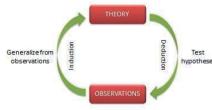
Hipótesis

Una hipótesis es una explicación tentativa de la relación entre dos o más variables.

Se enuncia en forma declarativa, de forma tal, que permite probar las relaciones entre las variables.

Tipos de hipótesis:

- **Hipótesis de investigación.** Enunciado acerca de aquello que el investigador piensa será el resultado de su experimento o estudio.



REFERENCIAS

Colombia Aprende-Cursos Digitales (2019). *Contenidos educativos digitales para la enseñanza de las áreas de Ciencias Naturales, Matemáticas y Lenguaje, para educación básica y media*. Colombia. Disponible en: <http://aprende.colombiaaprende.edu.co/es/cursos-digitales>

Facultad de Estudios Superiores Aragón (UNAM) (2019). *Manual de Producción de Video-cápsulas Educativas*. México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://manualdeproducciondevideocapsulas.blogspot.com/>

Martínez V. (2020). *Cómo hacer cápsulas educativas*. Chile. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=vGJ9BjMwE3A>

Palabra Maestra (2019). *Cápsulas educativas*. Disponible en: <https://compartirpalabramaestra.org/radio-compartir-palabra-maestra/capsulas-educativas>

Vidal M., Vialart M., Alfonso I. y Zacco G., (2019). *Cápsulas educativas o informativas. Un mejor aprendizaje significativo*. Cuba. Escuela Nacional de Salud Pública y Centro Nacional de Información de Ciencias Médicas.

Villegas A. (2021). *Diseño de cápsulas digitales en línea con Genially*. México. Universidad de las Américas.

CAPÍTULO 2

EXPERIENCIA DE AULA CON USO DE MAPLE EN CIENCIAS BÁSICAS PARA ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL INFORMÁTICA EN SUS HORAS MIXTAS Y AUTÓNOMAS

Data de aceite: 02/08/2023

Soledad Yáñez Arriagada

Universidad Católica de Temuco
Casilla 15-D. Temuco

físicos y matemáticos, por ende una mayor aprobación de las signaturas de Ciencias básicas

PALABRAS-CLAVE: Aprendizaje significativo, autonomía, Maple

RESUMEN: El propósito del presente trabajo es mostrar la experiencia de aula con el uso de Maple en horas mixtas en laboratorio de computación y manual de Maple para sus horas autónomas en 5 cursos de ciencias básicas de la carrera Ingeniería Civil Informática de la UC TEMUCO, para alumnos que cursan su tercer año académico.

La experiencias se basa en el uso de material tipo manual del software matemático MAPLE, el cual proporciona en el alumno por un lado aprendizaje más significativo y por otro es un apoyo al trabajo de horas autónomas que para estos alumnos es mayor en número, de acuerdo al modelo educativo de la Universidad Católica de Temuco, modelo por Competencia centrado en el alumno y en su aprendizaje. El uso del software, permite que el alumno logre este aprendizaje evidenciando un positivo desarrollo académico en el proceso lógico-abstrato del pensamiento matemático en resolución y razonamiento de problemas

INTRODUCCIÓN

De acuerdo al plan de desarrollo institucional (PDI) de la Universidad Católica de Temuco, se pretende aportar acciones, estrategias que favorezcan el aprendizaje significativo y la formación por competencias (básicas, genéricas y específicas). Para ello se crean recursos didácticos que sean complementarios a la acción de docencia directa , esto con la incorporación de uso de laboratorio en cada una de las clases del área Matemática con la utilización de software, particularmente el MAPLE, que permitan que el alumno cuente con opciones de un trabajo más autónomo y significativo; se implementan guías de laboratorio que gatillen el aprendizaje, manuales de ejercicios como material de apoyo que incidan en los rendimientos y favorezcan el desarrollo de

la disciplina en el contexto del que hacer interdisciplinario.

La escuela de ingeniería informática se enmarca en el desarrollo del nuevo modelo de formación por competencias que desarrolla la Universidad Católica de Temuco. El uso del Maple en cursos de matemática, propicia una motivación y preocupación más completa por parte del estudiante. En temas por ejemplo como el Cálculo en varias variables, permite observar y conocer más casos en cada uno de las aplicaciones, con una visualización más concreta y rápida (Meagher, 2005).

Según Costa (2010) “*Las nuevas tecnologías permiten introducir imágenes, animaciones y sonidos que provocan generalmente en los alumnos un acercamiento a los nuevos temas a estudiar y una motivación de los mismos. Este software permite una participación activa y creativa por parte del estudiante, dado que con esta herramienta podrá conjeturar, experimentar y extraer conclusiones*”.

La existencia de un material escrito de apoyo para el alumno, con indicaciones claras y comandos básicos, motiva el trabajo en equipo, el trabajo colaborativo, favorece la visualización de conceptos matemáticos (sólidos de revolución, superficies en tres dimensiones), permite la optimización del tiempo, dejando de lado el cálculo de extensos y tediosos ejercicios.

El uso de tecnología en la enseñanza de la matemática permite en el alumnado el desarrollo de habilidades del pensamiento como: explorar, inferir, hacer conjeturas, justificar, argumentar y de esta forma construir su propio conocimiento, según Fernández, Izquierdo y Lima (2000), (Ávila, Chourio, Álvarez 2007). Además, es pertinente dejar en claro que con el uso del software, el docente debe convertirse en un facilitador y un diseñador de situaciones de aprendizaje para desarrollar en el alumnado habilidades de auto aprendizaje (Ávila, Chourio, Álvarez 2007). La tecnología Maple ha sido ampliamente incorporada en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas por la mayoría de los educadores, Meagher (2005); Kilicman, Hassan y Husain Said (2010), Kovacheva (2007); Godarzi, Aminifar y Bakhshalizadeh (2009).

DESARROLLO

La presente experiencia se enmarca dentro de un proyecto de Innovación a la docencia (PID) el cual tiene como objetivo general “*Incorporar el uso de material didáctico de laboratorio con soporte tic, por medio del software matemático, guía de laboratorio y manual de ejercicios resueltos, para el mejoramiento del rendimiento académico en ciencias básicas en los estudiantes de la carrera de ingeniería civil informática*”

Con el proyecto se adquiere licencia Maple 17 para laboratorio de la escuela de Informática, con él los alumnos ayudantes comienzan su tarea de construir el manual en las unidades seleccionadas para cada curso.

Asignatura	INFO 1141	INFO 1140	INFO 1143	INFO 1144	INFO 1145
Unidad	Funciones reales	Geometría Analítica	Derivada y sus aplicaciones	Matrices y diagonalización	Integrales múltiples
Material	Ejercicios resueltos maple	Ejercicios resueltos maple	Ejercicios resueltos maple	Ejercicios resueltos maple	Ejercicios resueltos maple
Ejercicios resueltos	Manual Maple	Manual Maple	Manual Maple	Manual Maple	Manual Maple
Guía de Laboratorio	Laboratorio maple	Laboratorio maple	Laboratorio maple	Laboratorio maple	Laboratorio maple

Tabla 1. Asignaturas intervenidas

Se llega acuerdo con los integrantes del proyecto que cada material de curso tendrá el siguiente formato:

Identificación del curso	Apunte para la Unidad	Actividades de sala	Actividades de Laboratorio
Sigla	Definiciones	Ejercicios algorítmicos	Motivación al inicio del tema
Unidad	Ejemplos y ejercicios resueltos	Ciclo de Kolb	Trabajo práctico

Tabla 2. Formato de Material por Curso

Los ejercicios resueltos tipo manual van conformándose de la siguiente forma:

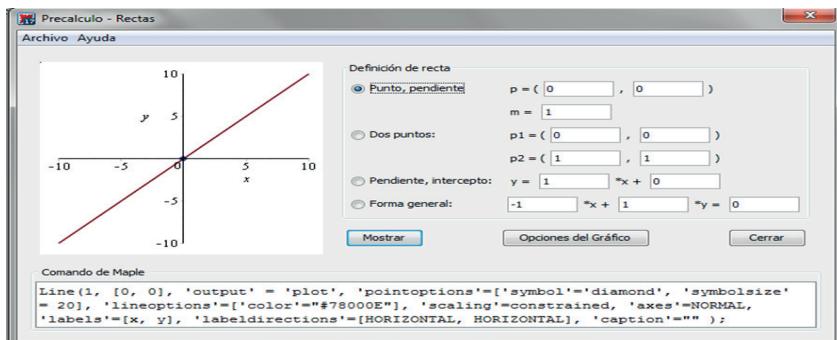


Figura 1. Gráfico de ecuación de la recta en Maple.

$$\text{m. } f(x) = \frac{1}{\sqrt{x-1}}$$

Gráfica

Para obtener la gráfica de la función se debe hacer en MAPLE de la siguiente forma:

```
with(plots) : 
f := x -> 1/sqrt(x-1) :
print("Grafico de f(x)" ) :
plot(f,-5..5);
print("Dominio = R : x > 1 " ) :
```

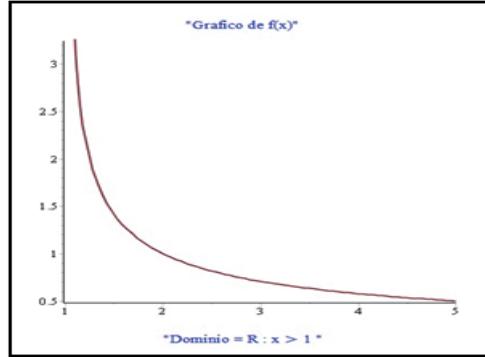


Figura 2. Gráfico de función en Maple

4. Identificar el eje de simetría, vértice, foco, directriz y esboza la gráfica de las siguientes paráboles.

- a) $(x+3)^2 = -8(y-2)$
b) $-3y^2 - 18y + 6x = 0$

Solución

- a) Para realizar lo pedido, vamos a Herramientas, >Precálculo y >Cónicas.

Escribimos la ecuación y pulsamos **enter**. Nos arroja las características de la parábola y además la gráfica.

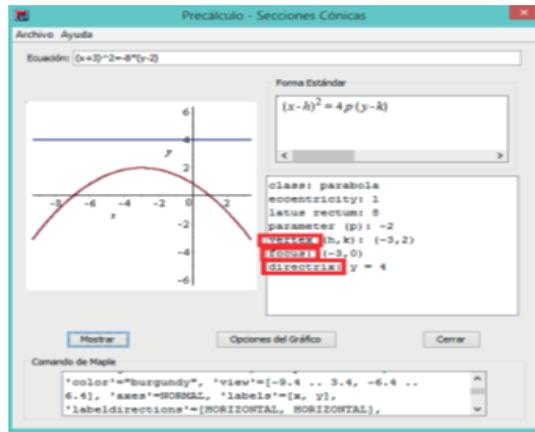


Figura 3. Gráfico Cónica en Maple

En horas mixtas se reúnen con el docente en el laboratorio para trabajar material con el siguiente formato:



- A. Resultados de Aprendizaje: RA1- RA2
- B. Instrucciones Generales:
- A través de ejemplos reconocer crecimientos y decrecimiento exponenciales
 - A través de diversos gráficos reconocer las propiedades y características de las funciones exponenciales.
 - Esto se desarrollará individualmente en el Laboratorio de computación.
- C. Tiempo: 1 hr (La hora Mixta del curso horario del Viernes)
- D. Actividad a realizar:
- L. Frente al problema: Construir un diagrama de árbol, una tabla de valores y graficarla.
1. Una enfermedad se ha propagado rápidamente en los últimos años. Cada mes se duplica la cantidad de contagiados del mes anterior.
- Construir un diagrama de árbol.
 - Completar la tabla
- | Mes | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nº de Enfermos | | | | | | | | | |
| Potencia | | | | | | | | | |
- Graficar cada uno de los puntos de la tabla.
 - Graficar en el mismo sistema de coordenadas la función $f(x) = 2^x$
2. Una especie de microorganismo, que se reproduce en un laboratorio, se triplica cada 1 hora.
- Construir un diagrama de árbol.
 - Completar la tabla
- | Mes | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| Nº de Microorganismos | | | | | | | |
| Potencia | | | | | | | |
- Graficar cada uno de los puntos de la tabla.
 - Graficar en el mismo sistema de coordenadas la función $f(x) = 3^x$
 - De acuerdo a la información proporcionada por el gráfico responder - ¿A qué hora habrá más de 2000 microorganismos?

99

Figura 4. Guía de Laboratorio Maple curso de álgebra



- A. Resultados de Aprendizaje: Resuelve modelos matemáticos para dar respuesta a problemas provenientes del análisis de contextos profesionales o cotidianos (situaciones en el ámbito laboral como Ingeniero Civil Informático), utilizando los tópicos esenciales del curso de Introducción al Cálculo los que resuelve a través del Maple como herramienta de aprendizaje. Enfrenta estos problemas con sus pares respetando y valorando la diversidad de cada uno en su percepción de los problemas de contexto. (C.G: Valoración y respeto a la diversidad)
- B. Instrucciones Generales: Leer atentamente la guía y las instrucciones dadas. Trabajarse a dos. En este laboratorio exploraremos el plano cartesiano. Por lo que debes ir a gráficos en 2D. Ubicaremos puntos para determinar la distancia entre ellos.
- C. Tiempo: 1 hr.
- D. Actividad a realizar:
- Dibuja el plano Cartesiano.
 - Inserta puntos, dibujando 5 rectas
 - Determina la pendiente de cada recta
 - Grafica las siguientes rectas: $y = 2x$, $y = -2x$, $y = 1/2 x$, $y = -1/3x$, $y = 3x + 5$, $y = -3x + 5$.
Todas en un mismo plano. ¿Qué observas?

Figura 5. Guía de Laboratorio Maple curso de Introducción al Cálculo

Unidad: Matrices y determinantes

A. Resultados de Aprendizaje:

- Organizar información en matrices.
- Operar con matrices.
- Resuelven problemas aplicando matrices e interpretan los resultados obtenidos en el contexto del problema.
- Calcular determinantes
- Deducen propiedades de los determinantes, mediante el uso de Maple.

B. Instrucciones Generales: Los estudiantes forman grupos de a lo más tres personas y revisan en plataforma Instructivo de Maple diseñado como apoyo para desarrollar esta actividad.

C. Tiempo: 3 hrs.

D. Actividad a realizar: (Problema en ciclo de krob)

Use maple para resolver cada uno de los siguientes ejercicios:

- 1) (Matrices de producción) Una empresa produce tres tamaños de cintas magnetofónicas de dos calidades diferentes. La producción (en miles) en su planta de baja California está dada por la matriz siguiente:

$$\begin{pmatrix} & \text{Tamaño 1} & \text{Tamaño 2} & \text{Tamaño 3} \\ \text{Calidad 1} & 27 & 36 & 30 \\ \text{Calidad 2} & 18 & 26 & 21 \end{pmatrix}$$

La producción (en miles) en su planta de Monterrey está dada por la matriz

- a) Escriba una matriz que represente la producción total de cintas de ambas plantas.
 b) El dueño de la empresa planea abrir una tercera planta en Chihuahua, la cual tendría una vez y media la capacidad de la planta en Baja California. Escriba la matriz que representa la producción en la planta de Chihuahua.
 c) ¿Cuál sería la producción total en las tres plantas?

- 2) (Costos de transporte) Una compañía tiene plantas en tres localidades, X, Y y Z, y cuatro bodegas en los lugares A, B, C y D. El costo (en dólares) de transportar cada unidad de su producto de una planta a una bodega está dado por la matriz siguiente:

$$\begin{pmatrix} X & Y & Z \\ A & 10 & 12 & 15 \\ B & 13 & 10 & 12 \\ C & 8 & 15 & 6 \\ D & 16 & 9 & 10 \end{pmatrix}$$

- a) Si los costos de transporte se incrementan uniformemente en \$* por unidad, ¿cuál es la nueva matriz?
 b) Si los costos de transporte se elevan en un 20%, escriba los nuevos costos en forma matricial.

- 3) Dadas las matrices: $A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & -1 \\ 1 & 0 & 3 \\ 2 & -2 & 5 \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} 2 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 1 & -2 & 4 \end{bmatrix}$, $C = \begin{bmatrix} 1 & -2 & -3 \\ 4 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ y $I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ calcular en forma escrita y con Maple lo siguiente:

- a) $A + 2B$ g) IB m) $a^2 \det(A)$
 b) BC^T h) $\det(A)$ n) A^{-1}
 c) $A \perp I - 2BT$ i) $\det(AB)$ o) B^{-1}

Figura 5. Guía de Laboratorio Maple curso de Algebra Lineal

En horas autónomas, los alumnos utilizan los ejercicios resueltos tipo manual para trabajar como los siguientes:

10)

$$2 \sin x \cos y = 1$$

> $\text{implicitdiff}(2 \sin(x) \cos(y) = 1, y, x);$

$$\frac{\cos(x) \cos(y)}{\sin(x) \sin(y)}$$

11)

$$\sin x + 2 \cos 2y = 1$$

> $\text{implicitdiff}(\sin(x) + 2 \cdot \cos(2y) = 1, y, x);$

$$\frac{1}{4} \frac{\cos(x)}{\sin(2y)}$$

12)

$$(\sin \pi x + \cos \pi y)^2 = 2$$

> $\text{implicitdiff}((\sin(\pi x) + \cos(\pi y))^2 = 2, y, x);$

$$\frac{\cos(\pi x)}{\sin(\pi y)}$$

13)

$$\sin x = x(1 + \tan y)$$

> $\text{implicitdiff}(\sin(x) = x(1 + \tan(y)), y, x);$

$$\frac{-\cos(x) + 1 + \tan(y)}{x(1 + \tan(y)^2)}$$

14)

$$\operatorname{ctg} y = x - y$$

> $\text{implicitdiff}(\operatorname{ctg}(y) = x - y, y, x);$

$$\frac{1}{\operatorname{cot}(y)^2}$$

16)

$$x = \sec \frac{1}{y}$$

> $\text{implicitdiff}\left(x = \sec\left(\frac{1}{y}\right), y, x\right);$

$$-\frac{y^2}{\sec\left(\frac{1}{y}\right) \tan\left(\frac{1}{y}\right)}$$

5. En los ejercicios 17-24, hallar $\frac{dy}{dx}$ por derivación implícita y calcular la derivada en el punto indicado.

Para realizar este proceso es necesario guardar la función derivada en una función, a la cual llamaremos posteriormente y la asignamos los valores de "x" e "y".

17)

Ecuación	Punto
$xy = 4$	(-4, -1)

> $\text{var} := \text{implicitdiff}(x \cdot y = 4, y, x);$

$$\text{var} := -\frac{y}{x}$$

> $\text{eval}(\text{var}, \{x = -4, y = -1\})$

$$-\frac{1}{4}$$

18)

Ecuación	Punto
$x^2 - y^3 = 0$	(1, 1)

Figura 6. Ejercicios resueltos tipo Manual Cálculo Intermedio

1. Calcule las siguientes integrales dobles:

a) $\int_1^2 \int_0^2 (y + 2xe^y) dx dy$

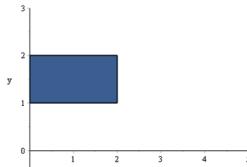
```
> Int(Int(y+2*x*e^y,x=0..2),y=1..2);
= value(Int(Int(y+2*x*e^y,x=0..2),y=1..2));
= 3 - 4e + 4e^2
= with(plot):
> inecua := [x ≥ 0, x ≤ 2, y ≥ 1, y ≤ 2]
= inecua := [0 ≤ x, x ≤ 2, 1 ≤ y, y ≤ 2]
```

b) $\int_0^1 \int_0^1 ye^{xy} dx dy$

```
> Int(Int(ye^(x*y),x=0..1),y=0..1);
= value(Int(Int(ye^(x*y),x=0..1),y=0..1));
= 1/2 * e^y
= with(plot):
> inecua := [x ≥ 0, x ≤ 1, y ≥ 0, y ≤ 1]
= inecua := [0 ≤ x, x ≤ 1, 0 ≤ y, y ≤ 1]
```

Luego que guardamos la inecuación en `inecuac`, la graficamos usando `inequal`.

```
a(inecuac,x=0..5,y=-2..3)
```



```
Luego que guardamos la inecuación en inecuac, la graficamos usando inequal.
```

```
> ineq(inecuac,x=0..3,y=0..3)
```

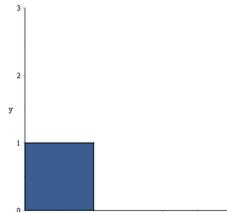


Figura 7. Ejercicios resueltos tipo Manual Cálculo Avanzado

Los alumnos que participan de esta experiencia responden encuesta de percepción y algunas de sus respuestas son las que muestran en los gráficos

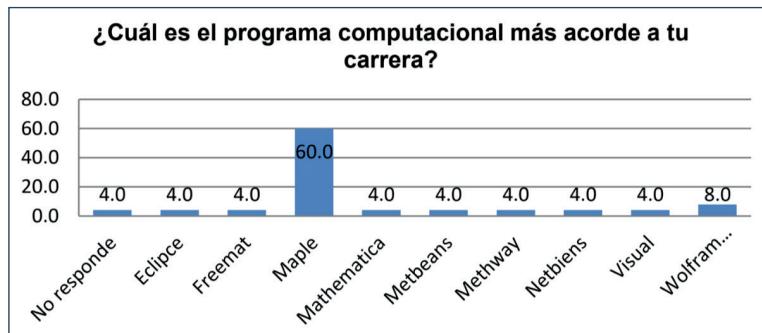


Figura 8. Programa preferido por los estudiantes de I.C.Informática

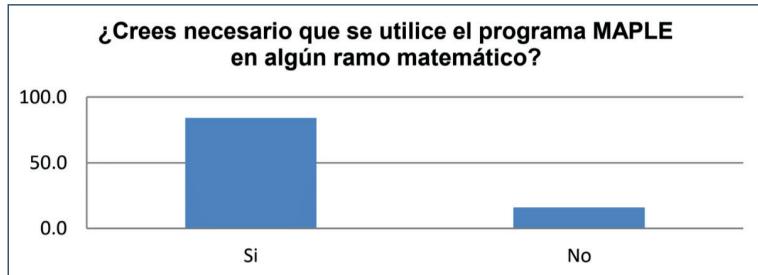


Figura 9. Necesidad del uso de Maple

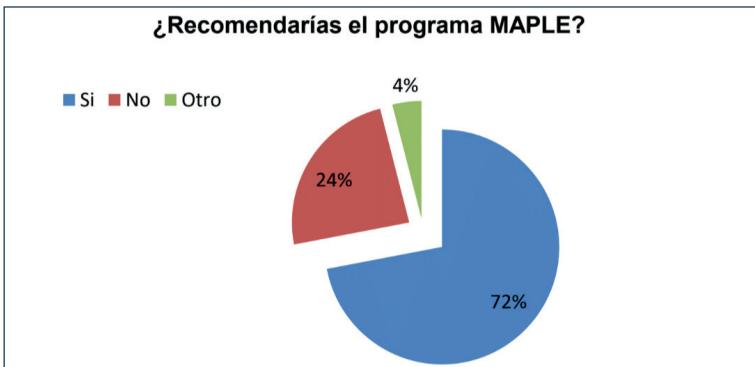


Figura 10. Opción por Maple

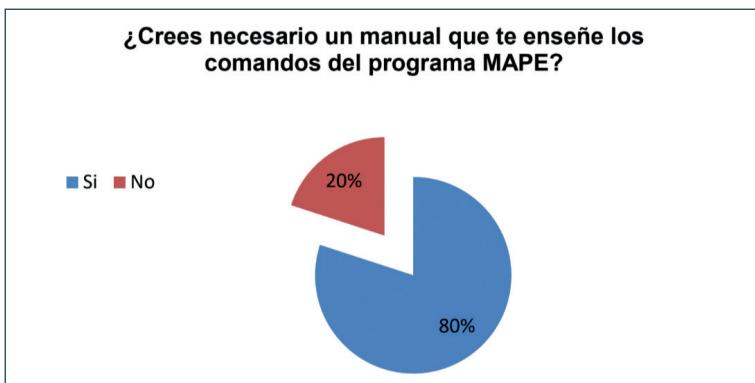


Figura 11. Importancia de un Manual

CONCLUSIONES

Se ha generado un material sistematizado (preliminar) para cada uno de los cursos, lo que facilitará su réplica con otra generación de alumnos de la misma carrera y en otras carreras de la Facultad de Ingeniería.

Se rediseña la guías de Aprendizaje, incorporando el uso del Maple en forma explícita en actividades en horas mixtas como en horas autónomas.

Se generan las guías de laboratorio para todos los cursos comprometidos en algunos casos resueltas en Maple en otras propuestas.

Los alumnos resuelven ejercicios de la unidad comprometida con Maple, lo que genera en ellos una actitud positiva hacia la asignatura, interés por trabajar en ella tanto en aula como en sus horas autónomas

El porcentaje de aprobación de la asignatura Introducción al Cálculo es de un 60% con uso de MAPLE con 40 alumnos en aula. Esta asignatura se dicta por primera vez el año 2012, el curso se dicta sin uso de Maple y el porcentaje de aprobación es un 52% (con

un curso de 25 alumnos).

La Facultad de Ingeniería al tomar conciencia de lo positivo de trabajar con un software Matemático, a través de otros proyectos Institucionales implementa laboratorio Multimedia , el cual se está en proceso de adquirir no solo Maple sino otros software de interés para las ciencias básicas y la ingeniería.

REFERENCIAS

Avila, M., Chourio, E., Carniel, L., Alvarez, Z. (2007). El software Matemático como herramienta para el desarrollo de habilidades y mejoramiento del aprendizaje de las Matemáticas. Revista electrónica “Actualidades investigativas en educación”. Universidad de Costa Rica.

Costa, V., Di Domeniconi, R., Vecchino, M. (2010). Material educativo digital como recurso didáctico para el aprendizaje del cálculo integral y vectorial. Revista Iberoamericana de Educación Matemática.

Godarzi, S.Q., Aminifar, E., & Bakhshalizadeh, S. (2009). The impact of using computer algebraic system (CAS) in teaching and learning of “double integral”. *Proceedings of the Third International Conference on Science and Mathematics Education (CoSMEd)*, Penang, Malaysia.

Kilicman, A., Hassan, M.A., & Husain Said, S.K. (2010). Teaching and learning using mathematics software “The New Challenge”. *Proc. Social and Behavioral Sc.*, 8: 613-619.

Kovacheva, T. (2007). Use of the Maple system in math tuition at Universities. *Inter. J. Info. Tech. and Knowledge*, 1: 363-368.

Meagher, M. (2005). The processes of learning in a computer algebra system (CAS) environment for college students learning calculus. Doctoral Dissertation, The Ohio State University.

Noimang, S., Wiwatanapataphee, B. Hong, Y. (2008). Teaching-Learning Tool for Integral Calculus. Proceeding of the 13th Asian Technology Conference in Mathematics (pp. 525-533). Suan Sunandha Rajabhat University Bangkok, Thailand.

CAPÍTULO 3

LAS CIENCIAS BASICAS CONSTRUYENDO A UN INGENIERO DE CALIDAD EN SU FORMACION POR COMPETENCIA

Data de aceite: 02/08/2023

Carmen Soledad Yáñez Arriagada

Universidad Católica de Temuco
Casilla 15-D. Temuco

RESUMEN: El propósito del presente trabajo es mostrar actividades de aula y rúbricas que por un lado generan aprendizaje y por otro propician el poder evidenciar la competencia genérica asociada a la asignatura como son las competencias genéricas “*Comunicación oral y escrita*” en un curso de *Algebra* y “*Trabajo en equipo*” en un curso de Cálculo I para alumnos de Ingeniería Civil Industrial, Civil Química y Plan Común. El modelo educativo de la Universidad Católica de Temuco, es un modelo por Competencia con el que la Universidad ha definido su particular sello formativo. En estos cursos las rúbricas y metodologías están basadas en los criterios generales que nos presenta la Universidad. Los Ingenieros de hoy en día necesitan tener desarrollada estas y muchas otras competencias para enfrentar su carrera y futuro profesional y que mejor que comenzar a darles evidencia de cómo lo están resolviendo desde todas las disciplinas. De igual modo el declarar la competencia específica para el curso

con los resultados de aprendizaje, resulta beneficioso para el alumno y profesor, el alumno sabe específicamente que se espera de él al final del curso y también durante el proceso a través de la guía de aprendizaje. Por lo que todo el proceso de formación por competencia deja ver un alumno de mayor calidad en su formación. Se está formando un alumno integral.

INTRODUCCIÓN

La Universidad ha definido el perfil de egreso al que aspira, es decir ha definido un referencial de competencias, genéricas y específicas, que forman parte del perfil académico profesional de todos los programas de pregrado.

En su primer eje del modelo educativo “formación basada en competencias”, presenta como aspecto definitivo, la preocupación por formar personas capaces de poner en acción sus conocimientos y recursos personales para la vida en general y para que, en el ejercicio profesional y la actuación social, puedan resolver situaciones problemáticas y/o crear bienes y servicios para el bienestar

humano, con compromiso ético por lo que se hace.

De las diferentes categorizaciones de las competencias, la UC Temuco se ha decidido por aquellas que las clasifica en genéricas y específicas. Esas sí que las competencias genéricas son aquellas que permiten el desarrollo de las personas. Las competencias específicas son aquellas que reflejan el desempeño propio de su profesión o de cada programa de formación.

Cada competencia se divide en tres niveles, los niveles de dominio, son los enunciados que indican la secuencia de aprendizaje de cada competencia o la profundidad con la que el estudiante alcanza la realización de esa competencia.

A cada asignatura del itinerario formativo de una carrera, se le asigna una o dos competencias genéricas y una específica en un determinado nivel. Para evidenciar el logro de las competencias específicas, se definen resultados de aprendizajes que son más fáciles de evidenciar y las competencias genéricas se evidencian a través de actividades propiciadas con ese propósito y generando una rúbrica para ello. En el caso de los cursos de ciencias básicas los niveles a evidenciar son generalmente el nivel 1, los niveles más altos se evidencian en las asignaturas desde el tercer año en adelante.

Los resultados de aprendizajes que se definen por cada curso, entendiendo estos como “aquello que el estudiante efectivamente logró y que debe demostrar en la ejecución de una tarea”, en el caso de la asignatura de álgebra son tres:

RA1.- Formula modelos matemáticos a partir de enunciados de problemas en el contexto de la vida real y de la ingeniería, esto en forma oral y escrita.

RA2.- Resuelve modelos matemáticos que tienen sentido tanto en el contexto real como ingenieril, utilizando herramientas de la disciplina y lo explica en forma oral y escrita.

RA3.- Interpreta los resultados de la resolución de modelos matemáticos en término del problema que le dio origen a través de exposiciones orales y trabajos escritos.

La Universidad está mirando hacia afuera, ha observado su región y las necesidades del mercado, por lo que no puede quedar indiferente a tales cambios. El profesional requerido, requiere de una serie de competencias genéricas (blandas) que le exige, se visualiza en los avisos económicos cuando requiere de profesionales: “Se necesita ingeniero con capacidad de trabajar en equipo, liderazgo,...”

Ha sido todo un desafío el implementar actividades en los primeros cursos para la formación por competencias y en asignaturas de Ciencias Básicas. La universidad está en un proceso de autoevaluación, la cual también nos incluye y por ende muy importante una coevaluación de los pares.

Las competencias referidas a este curso son las enunciadas en tabla 1.

Curso	Competencia Genérica (Nivel 1)	Competencia Específica (Nivel 1)
-------	-----------------------------------	-------------------------------------

Algebra en Contexto	<p>Comunicación Oral y escrita</p> <p>Definición. Emplea de manera correcta y pertinente el idioma castellano, de forma oral y escrito para un adecuado desenvolvimiento profesional</p> <p>Nivel 1: Expresa eficaz y correctamente sus ideas, sentimientos, opiniones, en situaciones formales e informales, tanto en forma oral como escrita, de manera de provocar una comunicación efectiva.</p>	<p>Aplica el razonamiento lógico-matemático</p> <p>Definición: aplica el razonamiento lógico-matemático en contextos propios de la Ingeniería Civil.</p> <p>Nivel 1. Aplica la matemática al diseño de la solución de problemas de contexto. Resuelve problemas básicos de matemáticas, física y química.</p>
---------------------	---	--

Tabla 1

DESARROLLO

Existen dos instancias para evidenciar la competencia, llamados Momento 1 y Momento 2, después de los cuales se le presenta la planilla resumen (Figura 2), con las observaciones específicas en las que falla, esto con el fin de que revierta la situación en el Momento 2, que pasa a ser el definitivo para evidenciar la competencia entregando la información de validación o no en una segunda planilla resumen (Figura 3). En el caso de esta competencia se deben generar.

Competencia Genérica: Comunicación oral y escrita

Actividad 1: Evidenciación Competencia Momento 1

- Comunicación Oral: Los alumnos realizan presentación oral de diversos ejercicios de un tema disciplinario que se está trabajando en ese momento y se evalúa con la rúbrica. Se retroalimenta verbalmente al alumno inmediatamente terminada su presentación.
- Comunicación Escrita: A los alumnos se les evidencia en el desarrollo de sus pruebas escritas los criterios identificados en la rúbricas , los que ellos conocen previamente.la retroalimentación se realiza en la misma prueba , en la cual se escriben las observaciones pertinentes y se analizan en sala de clases.
- Comprensión lectora: En esta actividad se le incorpora en las pruebas escritas un texto en el contexto ingenieril, para el que debe responder a ciertas preguntas.

Criterio	Comunicación Oral	Comunicación escrita	Comprensión de textos
Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> • Usa un lenguaje apropiado (estilo/tono) • Comunica un mensaje coherente y organizado. • Postura Física adecuada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Escribe usando un lenguaje pertinente. • Escribe en forma ordenada, organizada de fácil lectura. • Articula una representación exacta de ideas(redacción) 	<ul style="list-style-type: none"> • Extrae información que se encuentra en el texto leído.

Tabla 2. RÚBRICA PARA EVIDENCIACIÓN COMPETENCIA

			MOMENTO 1							
Comunicación Oral			Comunicación Escrita			Compresión de Texto		Evidencia competencia		
Usa lenguaje apropiado, estilo tono	Comunica un mensaje coherente, organizado	Postura Física adecuada	E(SI)/ (NO)	Escribe usando lenguaje pertinente	Escribe de forma ordenada, organizada de fácil lectura	Articula una representación exacta de ideas (redacción)	Si/NO	información que se encuentra en el texto leido	SI/NO	
sí	no coherente	hacia la pizarr	NO	sí	falta orden	sí	NO	sí	NO	
sí	sí	sí	SI	sí	falta orden	sí	NO	sí	NO	
No se presenta			No	no se presenta	no se presenta	no se presenta	NO	no se presenta	NO	
No se presenta			No	no se presenta	no se presenta	no se presenta	NO	no se presenta	NO	
tono bajo	sí	sí	NO	sí	sí	sí	sí	sí	NO	
sí	sí	sí	SI	sí	sí	sí	sí	sí	SI	
sí	sí	sí	SI	sí	sí	sí	sí	sí	SI	
No se presenta			NO	sí	falta orden	sí	NO	sí	NO	
sí	sí	sí	SI	sí	sí	sí	sí	sí	SI	
sí	falta orden	sí	SI	borrones	falta organización	sí	NO	sí	NO	
No se presenta			No	no se presenta	no se presenta	no se presenta	NO	no se presenta	NO	
sí	alta organizació	sí	NO	sí	Falta orden	sí	NO	sí	NO	
tono bajo	sí	sí	NO	sí	sí	sí	sí	sí	NO	
tono bajo	sí	sí	NO	sí	sí	sí	sí	sí	NO	
sí	falta orden	hacia la pizarr	NO	sí	sí	sí	sí	sí	NO	
modulación	organización	sí	NO	sí	Falta orden	sí	NO	sí	NO	
sí	organización	sí	NO	no se entiende	Falta orden	no	NO	sí	NO	
sí	sí	sí	SI	sí	sí	sí	sí	sí	SI	
sí	sí	hacia la pizarr	NO	sí	Falta orden	sí	NO	sí	NO	
No se presenta			No	no se presenta	no se presenta	no se presenta	NO	no se presenta	NO	
sí	sí	sí	SI	sí	sí	sí	sí	sí	SI	
No se presenta			No	borrones	Falta orden	sí	NO	sí	NO	
sí	coherencia	sí	NO	borrones	no	no	NO	sí	NO	
sí	coherencia	sí	NO	sí	Falta orden	sí	NO	sí	NO	
No se presenta			No	no se presenta	no se presenta	no se presenta	NO	no se presenta	NO	
sí	coherencia	hacia la pizarr	NO	sí	falta orden	sí	NO	sí	NO	
No se presenta			No	borrones	sí	sí	NO	sí	NO	

Figura 1. Resultados de evidenciación de la Competencia Genérica Comunicación Oral y escrita

COMPRENSIÓN LECTORA. Considere el siguiente párrafo. Se pide que lea atentamente y responda de manera textual.

Escala Sismológica de Richter. Esta escala de magnitud local y sólo aplicable a los terremotos originados en la falla de San Andrés, fué desarrollada por Charles Richter con la colaboración de Beno Gutenberg en 1935, ambos investigadores del Instituto de Tecnología de California, con el propósito original de separar el gran número de terremotos pequeños de los menos frecuentes terremotos mayores observados en California en su tiempo. La escala fue desarrollada para estudiar únicamente aquellos terremotos ocurridos dentro de un área particular del sur de California cuyos sismogramas hayan sido recogidos exclusivamente por el sismómetro de torsión de Wood-Anderson. Richter reportó inicialmente valores con una precisión de un cuarto de unidad, sin embargo, usó números decimales más tarde. Desde el punto de vista cuantitativo las variables están relacionadas como

$$M = \log A + 3 \log(8\Delta t) - 2,92,$$

en donde, A es la amplitud de las ondas en milímetros, tomada directamente en el sismograma, Δt es el tiempo en segundos desde el inicio de las ondas P al de las ondas S , y M es la magnitud arbitraria pero constante a terremotos que liberan la misma cantidad de energía.

¿Cuál es el significado de las variables M , A y Δt ?

CONCLUSIONES

Si los esfuerzo en lograr un profesional integral desde su primer año de ingreso, fortaleciendo sus competencias genéricas y específicas, entonces se puede responder a la pregunta inicial la formación por competencias ¿contribuye a la calidad del ingeniero? La respuesta es SI

REFERENCIAS

1. Jabif,L. 2007, La docencia Universitaria bajo un enfoque de competencias.
2. Tecnológico de Monterrey, 2000.Las técnicas didácticas en el modelo educativo del tec. De Monterrey.
3. Universidad Católica de Temuco, 2007, Modelo educativo UC temuco. Principios y Lineamientos.

CAPÍTULO 4

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS YOUTUBE Y ZOOM EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DE QUINTO GRADO DE LA ESCUELA DE EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA “GRAL. MANUEL SERRANO RENDA” DEL CANTÓN EL GUABO

Data de aceite: 02/08/2023

Shanny-Mariuxi Montalvan-Chamba

Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica Universidad Técnica Particular de Loja

María-Petronila Juarez-Illescas

Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica Universidad Técnica Particular de Loja

Juan-Pablo Ureña-Torres

Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica Universidad Técnica Particular de Loja
Loja, Ecuador

aprendizaje de una institución primaria de Ecuador. Para ello, se presenta un caso de estudio, donde se aplicó una metodología cuantitativa, con un tipo de estudio descriptivo-correlacional, considerando la población total de estudiantes de quinto grado a quienes se aplicó una encuesta previamente estructurada y entrevistas a los docentes. En este contexto se concluye en base a los resultados que la utilización de YouTube y Zoom aportan significativamente al proceso de enseñanza-aprendizaje, sin embargo, se refleja en los docentes poco conocimiento en cuanto al uso de sus funcionalidades lo que compromete el desarrollo adecuado de los aprendizajes.

PALABRAS-CLAVE: Youtube; Zoom; enseñanza-aprendizaje.

RESUMEN: En el contexto de la pandemia por el Covid-19 el proceso de enseñanza aprendizaje, se trasladó a una modalidad virtual, experimentando cambios en la interacción docente y estudiantes, por lo que fue necesario la utilización de herramientas tecnológicas, como Youtube y Zoom, las cuales se convirtieron en las más utilizadas por su accesibilidad y diversidad de funcionalidades colaborativas. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la aplicación de las herramientas tecnológicas YouTube y Zoom, como recursos interactivos en el desarrollo del proceso de enseñanza-

APPLICATION OF TECHNOLOGICAL TOOLS YOUTUBE AND ZOOM IN THE TEACHING-LEARNING PROCESS OF FIFTH GRADE STUDENTS OF THE BASIC GENERAL EDUCATION SCHOOL “GRAL. MANUEL SERRANO RENDA” DEL CANTÓN EL GUABO

ABSTRACT: In the context of the Covid-19 pandemic, the teaching-learning process

moved to a virtual modality, experiencing changes in teacher-student interaction, for which it was necessary to use technological tools, such as YouTube and Zoom, the which became the most used due to their accessibility and diversity of collaborative functionalities. The objective of this work was to determine the application of the technological tools

YouTube and Zoom, as interactive resources in the development of the teaching-learning process of a primary institution in Ecuador. For this, a case study is presented, where a quantitative methodology was applied, with a descriptive-correlational type of study, considering the total population of fifth grade students to whom a previously structured survey and interviews with teachers were applied. In this context, it is concluded based on the results that the use of YouTube and Zoom contribute significantly to the teaching-learning process, however, little knowledge is reflected in the teachers regarding the use of its functionalities, which compromises the adequate development of the apprenticeships.

KEYWORDS: Youtube; Zoom; teaching-learning.

1 | INTRODUCCIÓN

Con la aplicación de las TIC, la educación ha ido evolucionando considerablemente, experimentando cambios positivos en beneficio de los procesos de enseñanza-aprendizaje, y es que cuando nos referimos a las tecnologías de información y comunicación, hablamos de una gran variedad de recursos que hoy no podemos desconocer su importancia y valor pedagógico para el proceso educativo de niños, y adolescentes.

El presente trabajo de investigación, nace con el objetivo de determinar la importancia e impacto de las herramientas o aplicaciones tecnológicas en el contexto educativo, ya que se evidencia en los estudiantes de primaria la limitada utilización de las funcionalidades que prestan las aplicaciones YouTube, Zoom, la escasa capacitación o conocimientos de docentes en la utilización de estas u otras herramientas y la no incorporación de otros recursos que, sin duda, conllevarían a una mejor interacción y rendimiento educativo de los estudiantes.

Para el desarrollo de la presente investigación, se utilizó una metodología de tipo cuantitativa, con un estudio descriptivo correlacional, así mismo se aplicó una encuesta a los estudiantes y entrevista a los docentes del curso, logrando así, determinar el impacto de las herramientas Youtube y Zoom para el proceso educativo.

La investigación se estructura en seis capítulos, el capítulo I corresponde al marco teórico donde se describen las definiciones respecto al proceso de enseñanza-aprendizaje, las Tic, ventajas y desventajas de las Tic, plataformas virtuales de aprendizaje, Youtube, Zoom, entre otros. El capítulo II, aborda la metodología aplicada en la investigación, describiendo elementos como objetivo general y específicos, el tipo de población investigada, contexto, los instrumentos y técnicas, recursos. El capítulo III, describe los resultados e interpretación obtenidos de la tabulación de las encuestas. El capítulo IV se refiere a la discusión de los resultados, donde en resumen se describe los hallazgos más

importantes de la investigación en contraste con otras investigaciones. En el capítulo V, se describen las conclusiones y recomendaciones hacia las autoridades y personal docente de la institución.

En este trabajo se pudo concluir que las herramientas tecnológicas Youtube y Zoom, han sido importantes para estudiantes y docentes, en la comunicación e interacción durante las clases virtuales, generando mayor interés y motivación por aprender; sin embargo se refleja que existe escasa capacitación de los docentes en el manejo adecuado de las herramientas, lo cual incide en que muchas funcionalidades de las mismas se dejen de lado, y se apliquen funciones monótonas durante los acompañamientos pedagógicos

2 I MARCO TEÓRICO

a. Proceso de enseñanza aprendizaje

El proceso de enseñanza-aprendizaje es el procedimiento donde se forma y educa a cada sujeto en su individualidad, afianzando su identidad y especificidad personal, pero también como un proceso dinámico e interactivo, el cual necesita de la colaboración de la comunidad educativa: docentes, estudiantes y padres de familia; además es el ambiente o espacio donde el principal protagonista es el estudiante, junto al profesor quien cumple una función de mediador, se generan una diversidad de nuevos conocimientos, a través del cumplimiento de una serie de actividades organizadas de forma lógica [1].

b. Enseñanza y aprendizaje con herramientas tecnológicas

Los docentes actualmente deben conocer muchas técnicas de enseñanza que vincule el campo de tecnología, la docencia requiere cambios metodológicos que puede resultar de gran utilidad, el conocimiento de las posibilidades que la tecnología nos ofrece actualmente para dejar de lado las metodologías más tradicionales [2]. Desde esta perspectiva, la formación del profesorado en TIC tendrá que desarrollar destrezas de enseñanza basándose en las demandas sociales y los avances tecnológicos derivados de la Web 2.0, lo cual exige el desarrollo y potenciación de determinadas competencias tecnológicas, que contribuirán a forjar al nuevo profesor y estudiante [3]. El aprendizaje con herramientas Web 2.0 posibilitan llevar a cabo los procesos de adquisición de conocimientos, la Web 2.0 se basa en objetivos como generar contenidos y compartirlos, aprender con el uso de herramientas tecnología. La aplicación de la tecnología a la evaluación del aprendizaje es otro de los elementos determinantes en los procesos docentes. La tecnología puede aportar flexibilidad al proceso evaluativo y transparencia para el estudiante[4].

c. Ventajas de las TIC en el proceso de enseñanza aprendizaje

Las tecnologías de la información y comunicación, promueven el acceso a los conocimientos, el desarrollo de nuevas destrezas y habilidades u otras ventajas en varios

ámbitos de la sociedad, tal y como lo explica [5] a continuación en la tabla I:

Ventajas de las TIC	
Item	Descripción
A nivel organizativo	Se ha establecido un cambio en la forma de organizar y almacenar la información en los establecimientos educativos, tanto a nivel administrativo como educativo. Cada vez la inmersión de los medios tecnológicos en la práctica educativa es mayor, ya sea en las formas de comunicación, la interacción docente-estudiante, recopilación de información, entre otros.
A nivel social	Se puede constatar que las TIC, tratan de romper con el tradicional aprendizaje individualizado, dando lugar al trabajo colaborativo. Surgen los denominados entornos de aprendizaje interactivos, que permiten a los estudiantes tener mejor comunicación con sus docentes y compañeros, así mismo permite a los docentes compartir recursos didácticos.
A nivel mental	Las Tic, han fomentado un cambio de mentalidad tanto en docentes como en estudiantes. Gracias a la sintonía en que están los estudiantes con la sociedad del conocimiento, el nivel de motivación para aprender es cada vez más favorable. Esto se debe al trabajo colaborativo, ellos pueden controlar su propio aprendizaje y realizar una diversidad de actividades lúdicas e interactivas.
A nivel pedagógico	Las Tic's, influyen de forma positiva en el aprendizaje del estudiante, en función de la aplicación de estas en la institución educativa. Para ello es necesario la incorporación de buenas metodologías, acompañadas de un docente que conozca cuál es su rol, y pueda determinar los momentos justos donde aplicar las nuevas tecnologías.

TABLE I. VENTAJAS DE LAS TIC EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE

d. Herramientas tecnológicas

Las herramientas tecnológicas, son un recurso que permite gestionar algunos cambios que propician la integración de los aprendizajes, en la búsqueda de la adaptación y las nuevas formas y modalidades de enseñanza que las generaciones requieren, herramientas que sean cercanas con facilidad de acceso que permitan una educación de calidad [6].

De igual manera, [7] menciona que, las herramientas tecnológicas brindan a los docentes diferentes formatos que pueden utilizar como mediación en sus clases. Muchos de estos recursos vienen acompañados de propuestas de actividades, que darán al docente mayor luz de cómo aprovecharlas en el desarrollo de las clases, proporcionando una diversidad de opciones a las que están inmersos a poder trabajar para un mejor dominio del tema, donde el docente usará uno de los tantos recursos tecnológicos, para hacer de su clase algo sumamente didáctico para compartir la temática y a partir de esta herramienta tecnológica conseguir que el estudiante capte y se involucre contribuyendo con sus propias opiniones y porque no, para lograr enriquecer el tema expuesto.

e. Tipos de herramientas tecnológicas

Actualmente el uso de herramientas tecnológicas es fundamental, su utilización ha sido clave para la obtención de resultados óptimos en muchos ámbitos y sobre todo en el educativo. Hay que recordar que estas son muy dinámicas y el poder aplicarlas facilitarán nuestras actividades, para ello se presenta a continuación en la tabla II los tipos de herramientas tecnológicas conocidas.

Herramientas Tecnológicas		
Tipo	Descripción	Aplicación
Herramientas básicas de trabajo	Los procesadores de texto: nos permiten crear, editar y modificar textos de acuerdo a la necesidad del usuario.	Microsoft Office Word, Wordpad, entre otros.
	Creadores de presentaciones: son softwares que sirven para unir textos, acompañado de imágenes, gráficos, sonidos.	Power Point, Prezzi, Genially.
	Hojas de cálculo: son programas que permite la manipulación sobre datos números dispuestos en tablas para la operación sobre cálculos complejos de contabilidad, finanzas y negocios.	Excel Numbers
Herramientas para compartir documentos	Son programas que almacenan información en la nube de manera segura y permiten compartir con varios usuarios.	Google drive, Dropbox, One drive.
Herramientas para la comunicación	Redes sociales genéricas: están diseñadas para compartir ideas entre usuarios sin una temática definida. Permiten subir contenidos en formato de video, audios, imágenes.	Facebook, Instagram, Tik Tok, Twitter, entre otras.
	Redes sociales especializadas: son aplicaciones que, al utilizarse, ya se tiene una temática definida a tratar.	LinkedIn, Zoom, Tinder, entre otras.
Herramientas de audio y video	Son programas para compartir archivos multimedia.	Youtube, iVoox, Spotify

TABLE II. TIPOS DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS

f. Herramienta youtube

Según [8] YouTube es una aplicación gratuita para el almacenamiento, administración y publicación de videos por medio de una cuenta de registro. Las personas o visitantes pueden subir, buscar, ver y descargar, gracias a herramientas libres como YouTube, el material en cualquier formato de video o audio. De acuerdo a [9], YouTube es un espacio virtual de acceso gratuito, fácil y uso multimedíatico, con una amplia cantidad de contenidos que almacena y ofrece posibilidades para uso educativo en contextos formales, no formales e informales. Se adapta al funcionamiento de la sociedad actual en donde el aprendizaje se lleva a cabo en diversos espacios, formatos, momentos y con diversos individuos.

g. Herramienta zoom

De acuerdo a [10], la plataforma Zoom es una herramienta de videoconferencia colaborativa, que proporciona audio, video y uso compartido de pantalla, ideal para conferencias, reuniones en línea, seminarios y clases virtuales. Los docentes pueden utilizar las distintas funciones de zoom como crear ambientes de aprendizaje interactivos, con características como pizarra virtual, salas de reuniones en grupos pequeños, encuestas para comentarios, chat en línea con el fin de generar debates en clase.

De esta manera podemos determinar que zoom es una herramienta que permite hacer videoconferencias, facilita la organización de reuniones familiares o de índole laboral, según las necesidades de los usuarios. Así también esta aplicación permite hacer llamadas, videollamadas, chats y grabar sesiones.

h. Funciones de zoom

Las funciones de Zoom, son varias desde compartir pantalla, grabar reuniones hasta cambiar el fondo virtual que se visualiza detrás del participante al encender su cámara. A continuación, se presenta en la tabla III una breve descripción de sus funcionalidades.

Función	Descripción
Perfil	En esta opción el usuario puede visualizar todos los datos asociados a su cuenta, así como modificarlos, por ejemplo, cambiar de foto de perfil, teléfono, idioma, formato de hora, contraseña de ingreso, correo electrónico, entre otros.
Reuniones	Esta opción permite programar reuniones con anterioridad. Se puede ingresar el título, la fecha y hora, así como generar un enlace para enviar a los participantes y puedan unirse de forma directa a la reunión.
Seminarios web	En esta función, el dueño de una cuenta puede asociar a su plan pagado, con el fin de organizar seminarios para grandes eventos como charlas, webinars, entre otras de 100 participantes de video y hasta 10000 usuarios asistentes.
Grabaciones	Se puede grabar las reuniones, para que luego pueda ser visualizado y tomar nota de algún detalle. Por defecto se guarda en tu computador, en los otros planes pagados de Zoom es posible guardarlo en la nube.
Configuración	Permite al usuario dueño de la cuenta dar ciertos ajustes en funciones relevantes como: - Reunión: permite dar seguridads como, habilitar o deshabilitar la sala de espera, el id y código de la reunión, activación o no de la cámara web al inicio de una videoconferencia. - Grabación: Aquí permite otorgar permisos para realizar grabaciones locales por parte de los asistentes a una videoconferencia, y configurar las grabaciones en la nube. - ZoomAps: Muestra en la interfaz de las reuniones, las herramientas de productividad como Google Calendar, Outlook, Exchange antes, durante y después de las mismas.

TABLE III. FUNCIONES DE ZOOM

3 I METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

a. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo cuantitativa, y se utiliza para minimizar el riesgo de tomar factores subjetivos, evitar distorsiones por motivo de las ideologías o sesgos emocionales presentes en los investigadores [11]. De igual forma es una investigación con un tipo de estudio descriptivo-correlacional debido a que se pretende verificar la relación existente entre la variable independiente (Herramientas digitales YouTube y Zoom) y la variable dependiente (proceso enseñanza aprendizaje).

b. Métodos de investigación

Los métodos utilizados durante la investigación fueron los siguientes:

1. Exploratorio: Consiste en un análisis exploratorio empírico en una situación inicial de la investigación.
2. Inductivo-deductivo: Permitió consolidar los conocimientos de acuerdo a los hechos, desde una situación particular a lo general, de acuerdo a los objetivos. Estos métodos facilitaron la generalización de los datos empíricos, para poder plantear soluciones al problema de la investigación.
3. Hermenéutico: Este método se utilizó en la recolección y análisis de fuentes bibliográficas, las cuales dieron sustento al tema de investigación.
4. Estadístico: Facilitó la organización de los datos obtenidos en tablas y distribuidos en números, y porcentajes dando así confiabilidad a los resultados.

En la figura 1 se puede visualizar la metodología de la investigación.

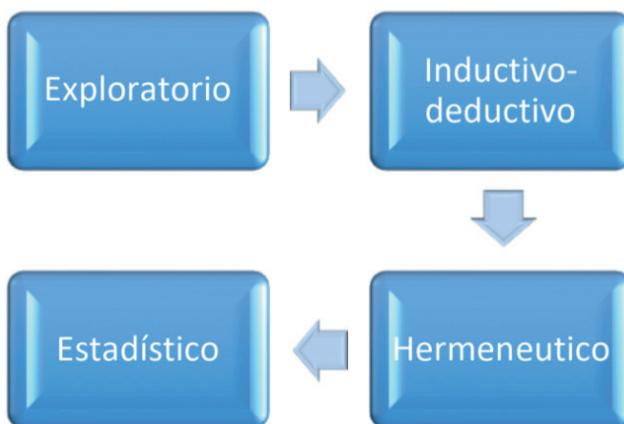


Fig. 1. Metodología de la investigación.

c. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas para la recolección de datos en esta institución educativa fueron la encuesta, que se aplicó a la cantidad de estudiantes según la muestra, y entrevista a los docentes del subnivel básica media.

La encuesta contó con 14 ítems, los cuales tuvieron como objetivo recoger datos respecto a la utilización de las herramientas tecnológicas, YouTube y Zoom, así como su impacto dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje.

4 | CASO DE ESTUDIO

a. Población y muestra

Esta investigación se realizó en la escuela fiscal antes mencionada, que brinda servicio a un total de 1332 estudiantes distribuidos desde el nivel Inicial hasta séptimo grado. Cuenta con 5 directivos, 2 auxiliares de servicio, y 42 docentes. En esta investigación se trabajó con toda la población de quinto grado de educación general básica que tiene un total de 200 estudiantes y 5 docentes.

b. Tratamiento de datos.

La investigación inició con la recolección de bibliografía para su respaldo y posterior análisis en relación a los resultados de las encuestas. Para la aplicación de los instrumentos mencionados, se solicitó autorización de las autoridades de la institución con el fin de poder intervenir con los docentes y estudiantes del subnivel básica media.

Los resultados obtenidos fueron tabulados mediante el programa Microsoft Office EXCEL, y distribuidos en números, porcentajes y frecuencias con el fin de poder interpretar los datos y emitir las conclusiones en relación con los objetivos planteados en la investigación, así como la propuesta de intervención.

c. Resultados del estudio

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la aplicación de las herramientas tecnológicas YouTube y Zoom, como recursos interactivos en el desarrollo eficiente del proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes de quinto año de EGB de la Escuela de Educación Básica Gral. Manuel Serrano Renda. El uso de herramientas tecnológicas ha tenido un crecimiento abrumador sobre todo en el contexto de la educación virtual en todos los niveles educativos, debido a la emergencia sanitaria causada por el COVID-19. Esto ha hecho que tanto estudiantes y docentes aceleren su capacidad en el desarrollo de ciertas competencias digitales, sin embargo, esto aún no está dentro de un nivel óptimo.

Los resultados de la presente investigación han permitido determinar que el uso de las herramientas tecnológicas YouTube y Zoom tienen un impacto positivo en los estudiantes y por ende en el proceso de enseñanza-aprendizaje, pues su inclusión ha

provocado motivación e interés por adquirir nuevos conocimientos a través de la interacción y dinamismo que existe durante las clases virtuales. Esto coincide con lo investigado por [12], quien en sus resultados expresa que la incorporación de estas dos herramientas dentro de las clases de microenseñanza, ha sido eficaz basado en las respuestas dadas por estudiantes y docentes.

Los hallazgos permiten determinar que las herramientas YouTube y Zoom no han sido utilizadas de manera eficiente, ya que los datos reflejan que, en el caso de YouTube, por ejemplo, el 100% de los encuestados expresaron que sólo se utiliza para visualizar videos, así mismo en un 0% respondió que no cuentan con canales propios para la difusión de videos académicos. Ante ello es importante que no sólo se difunda contenido audiovisual ya realizado sino también fomentar competencias digitales de producción de contenidos, de modo que esta herramienta sea aprovechada en su máxima capacidad. Es importante por lo tanto según [13], que esta herramienta se implemente dentro del proceso de enseñanza aprendizaje, considerando que al estar inmersos en una sociedad que no practica la lectura, se inserten nuevas formas de mantener la atención de los niños y niñas, como por ejemplo a través de videos.

En el caso de Zoom, también se limita el uso de todas sus funcionalidades, dejando de lado herramientas colaborativas como el chat, la pizarra digital, y las salas de grupos, que sin duda aportarían de mejor manera en la interacción docente- estudiante. De acuerdo a los resultados de la investigación tan sólo el 12% y 17% del total de encuestados utiliza estas funcionalidades colaborativas. Tal como sostiene [10], quien considera que los docentes deben utilizar todas las funcionalidades de Zoom, de modo que se configuren ambientes de aprendizaje interactivos y dinámicos.

Los resultados determinaron que la aplicación de metodologías y estrategias de enseñanza por parte del docente en la interacción virtual no es la adecuada, y eso se refleja en la no utilización de funcionalidades colaborativas de Zoom, así como la no creación y difusión de videos de YouTube no didácticos, lo cual incide en que las clases se tornen repetitivas. Surge entonces la necesidad de que los docentes de la institución educativa mejoren sus competencias digitales, frente a los nuevos desafíos, deben incorporar la tecnología en el ámbito educativo, para lo cual es necesario la formación o capacitación constante.

d. Análisis e interpretación de resultados

En la tabla IV se presenta el uso de los dispositivos tecnológicos en las clases virtuales.

Dispositivo utilizado por los estudiantes en clases virtuales		
Dispositivo	Frecuencia	Porcentaje
Computador	56	28,00%
Celular	127	63,50%
Tablet	17	8,50%
Total	200	100%

TABLE IV. DISPOSITIVOS TECNOLÓGICOS EN CLASES VIRTUALES

El 63% de los estudiantes, manifiestan que utilizan el celular para sus clases virtuales, el 28% utiliza computador y el 9% Tablet. Con estos resultados se puede determinar que el dispositivo más utilizado de acuerdo al contexto y situación económica de los estudiantes es el celular, el cuál ha sido una herramienta indispensable para recibir las orientaciones por parte del docente, en menor medida se utiliza el computador y Tablet. Este dispositivo no brinda todas las facilidades para desarrollar las clases dado que dificulta el uso de ciertas herramientas, paquete de Office para el desarrollo de las clases.

En la tabla V se presenta el análisis de la preferencia de los estudiantes sobre el uso de las herramientas tecnológicas

Preferencia de los estudiantes sobre el uso de las herramientas tecnológicas		
Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Si	179	91,33%
No	17	8,67%
Total	200	100%

TABLE V. USO DE LAS HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS

Los resultados nos muestran que el 91% de estudiantes, determina que, si prefiere o le gusta aprender con herramientas tecnológicas, mientras que el 9% considera que no. Se evidencia la importancia que hoy en día tienen las herramientas tecnológicas dentro del proceso de enseñanza aprendizaje, puesto que se convierten en recursos motivadores para los estudiantes y sobre todo generan dinamismo en el aprendizaje, respecto a que las herramientas tecnológicas gestionan cambios en el aprendizaje, y que se adaptan a las expectativas de los estudiantes actuales, permitiendo una educación de calidad.

En la tabla VI se presenta el análisis de las razones de los estudiantes para no utilizar las herramientas tecnológicas

Razones para no utilizar herramientas tecnológicas		
Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
No dispongo de conectividad	0	0,00%
No conozco su funcionamiento	13	76,47%
Prefiero la explicación del profesor	4	23,53%
Total	200	100%
Nota. Los porcentajes de esta tabla refiere del resultado en la opción NO de la tabla V.		

TABLE VI. RAZONES PARA NO UTILIZAR HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS

De los 17 estudiantes que seleccionaron que no les gusta aprender a través de herramientas tecnológicas, el 76% indica que la razón es porque desconocen de su funcionamiento, mientras que el 24% manifiesta que es porque prefieren las indicaciones del profesor.

Así podemos determinar, que, si bien el porcentaje es mínimo, hay estudiantes que prefieren no utilizar herramientas tecnológicas, debido al desconocimiento en el manejo de recursos TIC y porque les gusta más el contacto con el docente en el aula de clases.

En la siguiente tabla se presenta las preferencias de los estudiantes en las opciones de la herramienta zoom.

Preferencias de los estudiantes en las opciones de la herramienta zoom.						
Orden de preferencia	Para reuniones con amigos		Para reuniones de trabajos extraclase		Para recibir clases	
	Nro.	%	Nro.	%	Nro.	%
1	17	8,50	40	20,00	156	78,00
2	60	30,00	100	50,00	40	20,00
3	123	61,50	60	30,00	4	2,00
Total	200	100%	200	100%	200	100%

TABLE VII. PREFERENCIAS DE LOS ESTUDIANTES

Los resultados indican que la opción número uno, marcada como la de mayor preferencia al utilizar Zoom es para recibir clases virtuales, en segundo lugar, es utilizada para reuniones de trabajos extraclase y en tercer lugar para realizar reuniones con amigos. Se determina entonces que la plataforma Zoom, es utilizada preferentemente por los estudiantes para mantener contacto con sus profesores y compañeros en las clases virtuales. De esta manera se evidencia la importancia que ha tenido esta herramienta

dentro del proceso de enseñanza aprendizaje de los estudiantes, lo cual es también afirmado por los docentes en la entrevista que respondieron cuando indicaron que Zoom les ha permitido tener contacto con los estudiantes de manera fácil y así dar continuidad al proceso educativo en medio de las limitaciones por la pandemia. Así mismo Zoom es una herramienta colaborativa que permite realizar videoconferencias y establecer contacto con los estudiantes de una manera dinámica e interactiva dentro del proceso de enseñanza aprendizaje.

En la tabla VIII se presenta el análisis de uso de las funciones de la herramienta zoom por el docente en las clases.

Funciones de la herramienta zoom que utiliza el docente		
Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
Compartir pantalla	189	94,50%
Chat	34	17,00%
Emojis	32	16,00%
Grabación de clases	0	0,00%
Reunión por salas	24	12,00%
Pizarra digital	194	17,50%

Los porcentajes indican el número de veces que fue seleccionada la opción por los encuestados.

TABLE VIII. FUNCIONES ZOOM UTILIZADAS POR EL DOCENTE

En cuanto a las funciones utilizadas por el profesor durante las clases virtuales, los estudiantes manifiestan en un 94,5% a la opción compartir pantalla como la más utilizada, el 17% marca como otra opción utilizada al chat y la opción de pizarra digital, y en un 16% a los Emojis. La opción de reunión por salas es seleccionada sólo en un 12% y la función de grabar reuniones no se considera como parte de las funciones que utiliza el profesor.

De esta manera se interpreta que las funcionalidades de Zoom se utilizada de manera limitada, donde el docente se concentra en utilizar las opciones más cotidianas como compartir pantalla, mientras que otras opciones de carácter colaborativo como chat, Emojis, grabar pantalla y reunión por salas grupales no se aplican dentro de las actividades de enseñanza-aprendizaje, lo cual provocaría un uso monótono de la herramienta y no se aprovecha su potencialidad. Estos resultados también se relacionan con lo manifestado por los 5 docentes en la entrevista, donde consideran que la capacitación en estas herramientas tecnológicas es importante, ya que en el contexto de la educación virtual se les ha hecho muy difícil utilizarlas con sus estudiantes.

En la figura 2 se presenta el nivel de conocimiento que alcanzaron los estudiantes utilizando las herramientas de zoom y YouTube en sus clases virtuales.

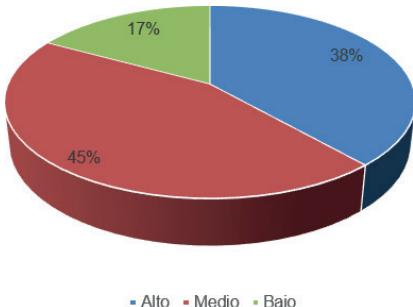


Fig. 2. Nivel de conocimiento utilizando las herramientas Zoom y Youtube

De acuerdo a la percepción de los estudiantes consideran en un 38% que han alcanzado un nivel de conocimiento alto mediante la utilización de herramientas tecnológicas, el 45% expresa que han alcanzado un nivel medio y el 17% un nivel bajo. Los resultados permiten determinar que la presencia de las herramientas tecnológicas si bien han sido importantes para la motivación y dinamización de los aprendizajes, los estudiantes consideran que su nivel de aprendizaje se encuentra entre un nivel medio y alto, quizás debido a falta de capacidad para integrar metodologías activas dentro del proceso de enseñanza por parte de los docentes y de la poca integración de más recursos tecnológicos que complementen a Zoom y YouTube con el fin de llegar a mejores resultados de aprendizaje.

Esto se relaciona con lo expresado por los docentes en la entrevista, quienes consideran que el rendimiento en el ámbito presencial era mayor que en el plano virtual, debido a que la interacción con el estudiante es distinta, y se les hace difícil utilizar recursos tecnológicos que les permita llegar de mejor manera con la enseñanza.

De igual manera los docentes en la entrevista, consideran que estas herramientas seguirán siendo parte del rol docente, en el caso de YouTube, por ejemplo, les servirá para enviar videos referentes a los contenidos que darán en clases presenciales y Zoom servirá para realizar acompañamientos pedagógicos en las 2 horas extra que trabajan desde el hogar. De igual manera [14] en su artículo de investigación destaca el valor de las herramientas YouTube y Zoom dentro del proceso de enseñanza aprendizaje durante la pandemia y de su importancia para seguir implementándose a futuro, con el fin de mejorar los procesos de interacción y dinámica entre docentes y estudiantes.

CONCLUSIONES

De acuerdo al estudio realizado en la Escuela de Educación General Básica “Gral. Manuel Serrano Renda” en el quinto grado de básica media, el uso de las herramientas tecnológicas YouTube y Zoom provocaron un impacto positivo dentro del proceso de enseñanza aprendizaje, ya que han facilitado la comunicación e interacción entre docentes

y estudiantes durante las clases virtuales.

Sólo el 38,5% de los estudiantes consideran que han alcanzado un nivel de conocimiento alto en sus aprendizajes mediante el uso de las herramientas tecnológicas YouTube y Zoom, lo que indica que su utilización no está haciendo eficiente durante las clases virtuales.

De acuerdo a los resultados de la entrevista, 3 de los 5 docentes manifiestan que no se han capacitado de manera autónoma en otras instituciones, ni han seguido los cursos ofertados últimamente por el Mineduc, debido a que se les hace complicado manejar el computador y las herramientas tecnológicas que se utilizan actualmente, así podemos determinar entonces que esto incide en que el manejo de la herramienta YouTube y Zoom sea el idóneo.

Los resultados han permitido conocer que las funcionalidades utilizadas por el docente durante las clases online, son monótonas y tradicionales, puesto que no se utilizan metodologías activas o colaborativas, como es el caso de las funcionalidades de Zoom, como, por ejemplo, las salas grupales, donde sólo el 6,50% de los estudiantes indicaron que sus docentes utilizan, lo cual ocasiona que no exista un aprendizaje colaborativo e interactividad entre estudiantes y docentes. En el caso de YouTube, se utiliza básicamente para buscar y compartir contenidos educativos que sean de interés para el docente, es así que el 0% de docentes como estudiantes no cuenta con un canal de YouTube que les permita generar contenido.

REFERENCES

1. A. Cabeza, "Individualización del proceso Enseñanza- Aprendizaje," 2011. [Online]. Available: www.pedagogiamagna.com
2. Ò. Flores, N. Verdú, P. Giménez, J. Juárez, J. A. Mur, and C. Menduiña, "Web 2.0 en la Docencia Universitaria: Aprendizaje Colaborativo a través de la tecnología," vol. 9, no. 24, pp. 931–960, 2011.
3. M. E. del Moral Pérez and L. Villalustre, "Formación del profesor 2.0: desarrollo de competencias tecnológicas para la escuela 2.0," *Magister: Revista Miscelánea de Investigación*, vol. 23, pp. 59–70, 2010.
4. J.-P. Ureña-Torres, G. Tenesaca-Luna, M. Mora- Arciniegas, and V. Segarra-Faggioni, "Aprendizaje colaborativo y activo mediante herramientas Web 2 . 0 aplicadas en la educación superior tools applied in higher education," pp. 45–51, 2017.
5. J. Fombella, "Ventajas y amenazas del uso de las TIC en el ámbito educativo," *Debates & Prácticas en Educación*, vol. 3, pp. 30–46, 2018, Accessed: Jan. 18, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6664959>
6. J. Mero-Ponce, "Herramientas digitales educativas y el aprendizaje significativo en los estudiantes," 2021, Accessed: Jan. 17, 2022. [Online]. Available: <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1735>

7. N. Piedra, "Herramientas tecnológicas como apoyo didáctico en el aprendizaje. Diseño de una aula virtual," 2019. Accessed: Jan. 18, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/48985>
8. M. Ramírez López and S. A. Rodríguez, "Trayectorias escolares en la educación superior ante la pandemia, ¿continuar, interrumpir o desistir?," 2020. <http://www.iisue.unam.mx/nosotros/covid/educacion-y-pandemia> (accessed Feb. 06, 2022).
9. S. Vera Balderas and J. Moreno Tapia, "Experiencias de aprendizaje en YouTube, un análisis durante la pandemia de COVID-19," *IE Revista de Investigación Educativa de la REDIECH*, vol. 12, pp. e1139–e1139, May 2021, doi: 10.33010/IE_RIE_REDIECH.V12I0.1139.
10. D. Serhan, "Transitioning from Face-to-Face to Remote Learning: Students' Attitudes and Perceptions of using Zoom during COVID-19 Pandemic," *The International Journal of Technology in Education and Science (IJTES) International Journal of Technology in Education and Science*, vol. 4, no. 4, pp. 334–342, 2020, [Online]. Available: www.ijtes.net
11. C. E. V. Uribe, "El debate recurrente sobre la investigación cuantitativa y cualitativa," 2003.
12. R. Veni, "Incorporating both Zoom and YouTube in Micro Teaching Class during the Covid-19 Pandemic: An Effectiveness Investigation," in *Journal of Physics: Conference Series*, Feb. 2021, vol. 1779, no. 1. doi: 10.1088/1742-6596/1779/1/012033.
13. P. N. Aisyah, A. Sujana, and W. Sopandi, *What is Elementary Education Need for Sustainable Development | ISBN 978-623-6988-28-2 [466] Analysis on The Students' Comprehension of The Material of The Human and Animal's Musculoskeletal System Using YouTube Video and Zoom Cloud Meetings Application*. 2020.
14. L. Mishra, T. Gupta, and A. Shree, "Online teaching- learning in higher education during lockdown period of COVID-19 pandemic," *International Journal of Educational Research Open*, vol. 1, p. 100012, 2020, doi: 10.1016/j.ijedro.2020.100012.

CAPÍTULO 5

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN BIOMÉTRICO MÓVIL PARA LA TOMA DE ASISTENCIAS DE LOS PROFESORES DE LA UNIVERSIDAD AMERICANA DE ACAPULCO

Data de aceite: 02/08/2023

Eduardo Rodríguez Rayo

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México Campus Acapulco
Acapulco de Juárez, Guerrero.

Luis Ramos Baños

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México Campus Acapulco
Acapulco de Juárez, Guerrero.

un sistema móvil de autenticación biométrica en el cual se utilizará la huella dactilar como atributo biométrico, donde se procesará la imagen digital para poder hacer la extracción de minucias aplicando algoritmos de extracción de características y verificación de las huellas dactilares.

PALABRAS-CLAVE: Autenticación biométrica, Huella dactilar, Verificación, Imagen digital, Minucias, Algoritmos.

DEVELOPMENT OF A MOBILE BIOMETRIC IDENTIFICATION SYSTEM FOR TAKING ATTENDANCE OF PROFESSORS AT THE AMERICAN UNIVERSITY OF ACAPULCO

ABSTRACT: Maintaining a standard of quality or improving it is an important goal for many organizations, in the field of private education students are assumed as customers for this reason are more strict with respect to educational quality and to receive all their classes, so the educational institutions adopt a customer satisfaction approach, so that they seek to implement measures that help in improving the quality of the institution, The aim is to modernize the system of taking attendance

RESUMEN: El mantener un estándar de calidad o mejorarlo es una meta importante para muchas organizaciones, en el ámbito de la educación privada los estudiantes se asumen como los clientes por este motivo son más estrictos con respecto a la calidad educativa y a recibir todas sus clases, por lo cual las instituciones educativas adoptan un enfoque de satisfacción al cliente, de tal forma que se buscan aplicar medidas que ayuden en la mejora de calidad de la institución, como lo es modernizar el sistema de toma de asistencias de los profesores cuando estos imparten sus clases, se busca desarrollar un sistema que pueda verificar a los profesores de forma inequívoca y que entregue información veraz, implementando

of teachers when they teach their classes, it seeks to develop a system that can verify teachers unequivocally and deliver accurate information, implementing a mobile biometric authentication system in which the fingerprint will be used as a biometric attribute, where the digital image will be processed to make the extraction of minutiae by applying algorithms for the extraction of characteristics and verification of fingerprints.

KEYWORDS: Biometric authentication, Fingerprint, Verification, Digital image, Minutiae, Algorithms.

1 | INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico crece en todas las direcciones, gracias al mismo se pueden crear prótesis funcionales, automóviles que se conducen de forma autónoma, generar diagnósticos médicos gracias a análisis por computadora, de la misma forma que grandes empresas u organizaciones modernizan sus procesos o servicios para proporcionar una mejor calidad de estos, mejorando o teniendo una mayor eficiencia en áreas administrativas en una empresa u organización.

La implementación de nuevas tecnologías en empresas u organizaciones se debe al crecimiento exponencial del mercado de las computadoras y sus sistemas, las computadoras han diseminado su uso en el mundo de los negocios desde los años sesenta, y las computadoras personales se han extendido por todas partes, En 1991 cerca del 60% de los empleados de oficinas en los Estados Unidos contaban con una de ellas en sus escritorios, A partir de del 2001 alrededor de 65 millones de los 115 de adultos que tenían un empleo y tenían más de 25 años usaban una computadora en el trabajo y alrededor de 48 millones de estos adultos usaban internet en el trabajo (Krugman, 1994), (NTIA and ESA, 2001).

El presente artículo está enfocado en desarrollar un sistema que tome la asistencia de los profesores a sus clases correspondientes en una institución educativa, mediante el uso del procesamiento digital de imágenes y la aplicación de tecnologías web.

2 | ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

La Universidad Americana de Acapulco es una institución privada de nivel medio superior y superior ubicada en la ciudad y puerto de Acapulco, Guerrero. La universidad está en la búsqueda de mejorar y avanzar para ofrecer un mejor servicio educativo, como lo podría ser la creación de un repositorio para almacenar las tesis de sus estudiantes, ha llevado a cabo proyectos en los que se ha dotado de internet inalámbrico a toda la institución, entre otros.

La institución busca mantener un estándar de calidad educativa y ha llevado a cabo diversas acciones para lograrlo, por este motivo se ha planteado el desarrollar un sistema de autenticación biométrica móvil, que sea capaz de autenticar a los profesores cuando

estos imparten sus clases y de esta forma poder llevar un registro de las asistencias.

3 | OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema móvil que, por medio de la lectura biométrica se tome la asistencia de los profesores al impartir sus clases en la Universidad Americana de Acapulco para proporcionar información veraz y oportuna al área administrativa.

4 | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el contexto de mejorar y/o garantizar la calidad de los servicios educativos, se desea llevar un control de las asistencias de los profesores al impartir sus clases, con la finalidad de poder tomar decisiones.

Las instituciones educativas deben de adoptar un enfoque de satisfacción al cliente, están obligadas a satisfacer en conjunto, al estudiante y a la sociedad en general. Esto requiere que la expectativa de la oferta educativa sea alcanzada o sea superada. Por esta razón, es importante fortalecer la confianza, evitar la deserción de los estudiantes, cumplir las metas educativas institucionales, garantizar la satisfacción de la comunidad educativa en general (Moreno, 2018).

Actualmente se toma la asistencia de los profesores de una forma tradicional, que es asistir a las aulas para verificar que los profesores estén impartiendo clases y anotarlos en una lista, y para verificar que se trata de un profesor impartiendo una clase este tiene que firmar dicha lista. Este método tiene algunas desventajas, ya que las listas en papel podrían sufrir algún inconveniente que ponga en riesgo su contenido, además de poder ser falsificadas tanto las listas enteras como las propias firmas de los profesores. Algunos de los problemas más importantes son los siguientes:

- Fragilidad de las listas en papel ante el agua, humedad, fuego, rupturas y degradación de la tinta con el paso del tiempo.
- Dificultad para el almacenamiento, se deben de tomar directrices más específicas para el almacenamiento del papel.
- Tiempo de toma de las asistencias, el tiempo que rompa registrar una asistencia en papel o de forma automatizada no tendría una notable variación, pero el tiempo que tomaría enviar esta información al área administrativa estaría sujeto a la jornada laboral.
- Archivar la información, al tener listas archivadas en papel se dificulta la búsqueda y revisión de la información.
- Veracidad de la información, la validación de un documento en papel requiere que la persona autorizada de validez con su firma, acción que se puede obviar con la automatización dando mayor veracidad a la acción.

5 | HIPÓTESIS

La aplicación móvil ayudará a la Universidad Americana de Acapulco a automatizar el proceso de toma de asistencia de los profesores al impartir sus clases de forma inequívoca ya que la asistencia se verificará con la huella dactilar, esto otorgará información veraz, de forma rápida y eficiente, donde se entregará esta información al área administrativa para facilitar sus labores.

6 | METODOLOGÍA

Para desarrollar el sistema móvil de toma de asistencias se ha optado por utilizar un smartphone que funcionará para realizar el procesamiento de las asistencias, almacenar los registros de las asistencias en la base de datos, así como la función de enrolar las huellas dactilares con cada profesor. En la actualidad muchos smartphones cuentan con un sensor biométrico para poder autenticar a los usuarios, funcionando como una capa de seguridad para los smartphones, esta funcionalidad está restringida en ciertos aspectos para los desarrolladores lo cual inhabilita los sensores incorporados en los smartphones para ser utilizados en el desarrollo de este sistema, por lo que se ha optado por un sensor especializado para trabajar con huellas dactilares que funciona por medio de bluetooth, el sensor es el modelo el HF4000Plus de la marca HFSecurity que se muestra en la figura 1, el cual dentro de sus múltiples funcionalidades está el poder digitalizar huellas dactilares.



Figura 1: Lector Bluetooth HF4000Plus

El sistema de verificación realiza dos tareas, la primera es registrar los datos de los profesores y esto implica el registro de sus huellas dactilares y el enrolamiento con las mismas, a continuación, se presenta la metodología empleada para el registro de los profesores.

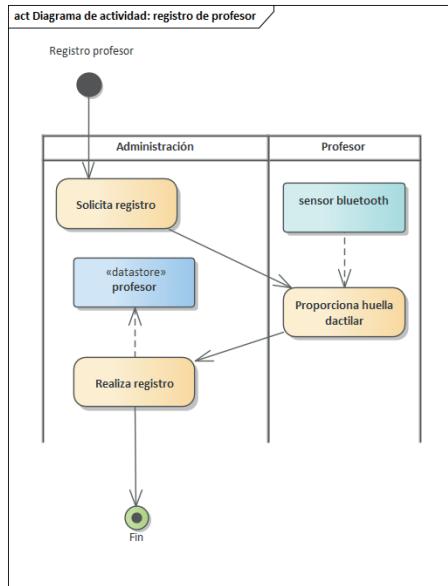


Figura 2: Diagrama de actividad del registro de profesores

Con la información almacenada ya es posible realizar la tarea de verificación de los profesores, en la figura 3 se muestra la metodología empleada para la toma de la asistencia.

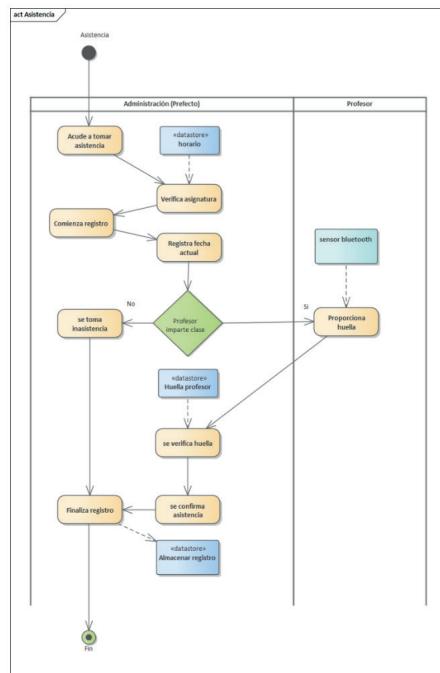


Figura 3: Diagrama de actividad del registro de asistencias

Esta alternativa para la toma de asistencia de los profesores está enfocada en el proceso de verificación, la finalidad de la biometría es poder verificar o identificar a una persona, esto se logra con la comparación uno a uno si es para la verificación y uno a muchos si es para la identificación, el usuario indica una identidad ya sea su huella dactilar, su rostro, voz, etc., el sistema ya cuenta con un registro previo de esta persona y accede a dicho registro para poder comparar la identificación proporcionada por el usuario con la identificación almacenada en el sistema y poder verificar si se trata de la misma persona.

7 | ATRIBUTOS BIOMÉTRICOS

Los atributos biométricos no se pueden olvidar. Son difíciles de copiar y compartir. Es necesario que la persona esté presente en el punto de autenticación para ser autenticada. La comparación de varios atributos como universalidad, unicidad, permanencia, cobrabilidad, rendimiento, aceptabilidad, elusión es medible, se da en la tabla 1 (Akanksha Bali, Shivangi Goswami, & Shagun Sharma, 2019).

Biometrics	Universality	Uniqueness	Permanence	Collectability	Performance
Face	H	L	M	H	L
Fingerprint	M	H	H	M	H
Hand Geometry	M	M	M	H	M
Keystrokes	L	L	L	M	L
Hand veins	M	M	M	M	M
Iris	H	H	H	M	H
Retinal scan	H	H	M	L	H
Signature	L	L	L	H	L
Voice	M	L	L	M	L

Tabla 1: Comparación de atributos biométricos

7.1 Conceptos básicos sobre las características de una huella dactilar (H = High, M = Medium y L = Low)

Cresta: Es el relieve lineal que existe en la epidermis de ciertas zonas que, alternando con los valles, forman el dibujo papilar. Son las rayas negras de una huella impresa en papel.

Valle: Hendidura entre las crestas de la huella digital.

Minucia: Una minucia es un punto de interés de la huella digital. Las minucias tienen la siguiente representación: $minucia = \{x, y, \theta\}$ donde x y y es la posición en la imagen de

la huella y θ es el ángulo de dicha minucia.

En la figura 4 se muestra la representación de 4 tipos de minucias, las cuales son terminaciones, cercos, bifurcaciones e islas.

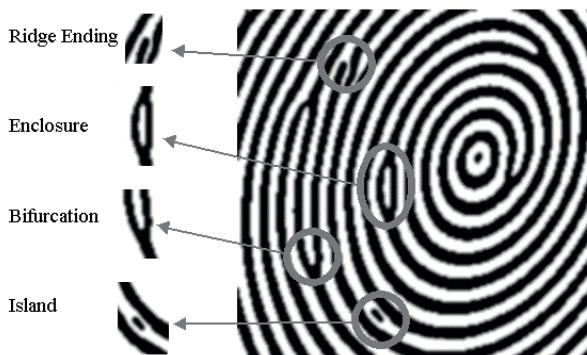


Figura 4: Diferentes características (minucias) presentes en la cresta del dedo (Dror, 2016)

8 | DESARROLLO

Llegado este punto ya se han establecido algunos parámetros para poder definir el funcionamiento del sistema, principalmente se requiere de un algoritmo que realice la extracción de características de las huellas dactilares para poder comparar las características de una huella almacenada en el sistema con la que se requieren verificar.

8.1 Extracción de características

El sensor HF4000Plus entrega una imagen de una huella dactilar, normalmente esta imagen siempre es de buena calidad, pero se puede dar el caso en que esta imagen contenga ruido, el cual deberá ser eliminado.

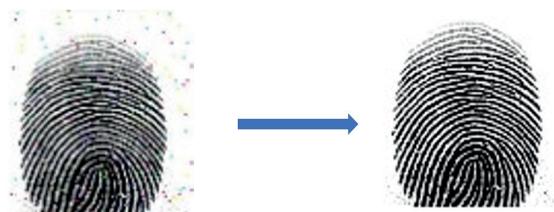


Figura 5: Eliminación de ruido en imagen de huella dactilar

Para realizar la extracción de características de una imagen de huella dactilar, esta debe ser binarizada, para crear una imagen binaria a partir de la imagen original se utiliza el valor de umbral. Puede ser un umbral de imagen global, especificado como un valor de luminancia escalar, o un umbral adaptable localmente, especificado como una matriz de valores de luminancia. Para calcular el umbral global a partir de los recuentos de histogramas, se utiliza el método de Otsu.

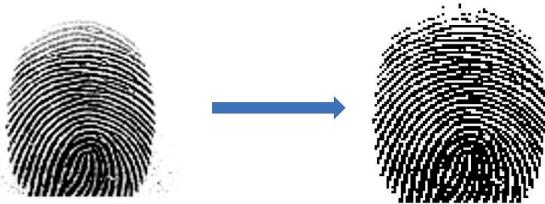


Figura 6: Binarización de imagen digital

Para poder hacer una distinción de las minucias se necesario realizar un adelgazamiento de las líneas en la imagen binarizada, de tal modo que las líneas sean equivalentes al tamaño de un píxel. Los algoritmos de adelgazamiento realizan un proceso análogo al concepto de fuego de pradera, ya que aplican, sucesivamente, un conjunto de condiciones a cada píxel de un objeto dentro de una imagen, eliminando aquellos píxeles que las cumplen mientras que mantienen aquellos píxeles que no las cumplen. De modo que, los píxeles que no son eliminados durante este proceso forman el esqueleto de la imagen.

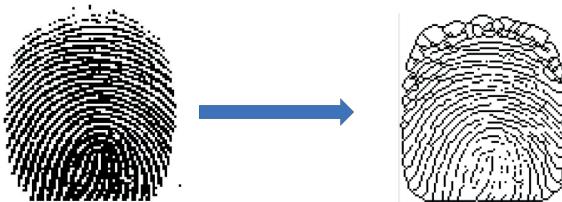


Figura 7: Adelgazamiento de la huella dactilar

Una vez finalizado el proceso de adelgazamiento, se tiene una imagen con las cualidades adecuadas para aplicarle un algoritmo de detección de minucias. El algoritmo consiste en calcular el número de píxeles que cruzan el píxel central (P_c), esto se calcula con la ecuación:

$$P_c = \sum_{i=1}^8 p(i) \begin{cases} P_c = 7 & \text{Bloque con terminación} \\ P_c = 6 & \text{Bloque sin minucia} \\ P_c \leq 5 & \text{Bloque con bifurcación} \end{cases} \quad (1)$$

En la ecuación p_1 a p_8 es una secuencia ordenada de píxeles que definen el bloque de 8 vecinos del píxel central. En la siguiente figura en 8a se puede observar la configuración de la ventana usada para localizar bifurcaciones y terminaciones. Las figuras 8b, 8c y 8d son las configuraciones posibles que podemos encontrar. a) Ventana de 3x3 usada para encontrar minucias, b) Bloque sin minucias, c) Bloque con bifurcación, d) Bloque con terminación.

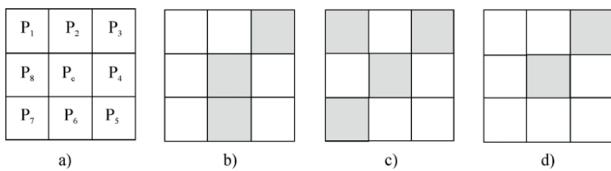


Figura 8: Ventana para encontrar minucias (Aguilar, Sánchez, Toscano, Nakano, & Pérez, 2008)

8.2 Etapa de verificación

El reconocimiento se realiza con tres importantes características: coordenadas, distancia y ángulos. La razón de usar tres características es poder obtener el mínimo error posible en el reconocimiento. Así, la información que se almacena de la huella dactilar consiste en una matriz. La matriz se compone de x vectores (total de minucias que se podrían almacenar) y cada vector de 4 valores que consisten en las dos coordenadas de la primera minuncia, la distancia a la siguiente minuncia y el ángulo de la primera minuncia con respecto al eje Y.

El proceso de reconocimiento es realizado de la siguiente forma: la imagen de entrada se convierte en una matriz de 4×100 que es el límite de minucias que se podrían almacenar y esta matriz es comparada con la obtenida de la base de datos.

Primero, se localizan los vectores con distancias iguales y se toman únicamente los que tienen el mismo ángulo. Después, se descartan los vectores que tienen coordenadas muy diferentes y de esta forma podemos asegurar un mejor reconocimiento.

Se puede decidir un umbral con el que se obtengan mayores resultados para tener un buen reconocimiento, es decir, que una imagen de entrada será reconocida solamente cuando su matriz contenga más del umbral de vectores iguales a alguna de las imágenes almacenadas en la base de datos.

Cuando más de una imagen supera el umbral de aceptación se reconoce a las dos huellas como la misma, para evitar esto se debe de hacer una verificación que consiste en descartar imágenes, se comienza analizando la dirección y el número de píxeles que fue movida la imagen de entrada.

Cuando dos imágenes de la huella dactilar de una misma persona son comparadas y una de estas imágenes está trasladada, todas las minucias de la huella dactilar se mueven en la misma dirección y cantidad de píxeles, pero cuando dos imágenes de diferentes personas son comparadas y una de ellas está trasladada, el número de píxeles y la dirección cambian. En la figura 9 se muestra este ejemplo (Aguilar, Sánchez, Toscano, Nakano, & Pérez, 2008).

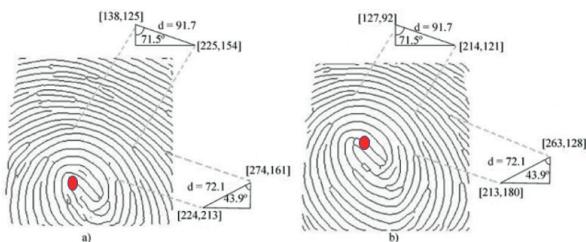


Figura 9: Comparación de huellas de una misma persona, a) Imagen almacenada, b) Imagen de entrada

9 I FUNCIONALIDADES DEL SISTEMA

El sistema está compuesto por diversas funcionalidades que completan al mismo, como lo es el registro de los profesores, enrolamiento de huella dactilar, almacenamiento, registro de asistencias y visualización de registros.

9.1 Registro de los profesores al sistema de autentificación

En la etapa de registro de los profesores al sistema se ha planteado que para los sistemas de autentificación se necesita tener un registro previo de las personas a autenticar, en este apartado se tomara registro de los datos de los profesores, para de esta forma poder generar los registros de las asistencias con la información correspondiente al profesor y de esta manera realizar una correcta relación con la materia impartida, el aula en la cual se imparte dicha materia y su correspondiente verificación.

9.2 Enrolamiento de huella dactilar

El sensor bluetooth será el encargado de realizar la adquisición de la imagen digital, la aplicación móvil será capaz de establecer una sincronización con el sensor, dicho sensor realiza la captura y esta es enviada a la aplicación para realizar su debido proceso de extracción de características, así como de almacenar los datos recopilados, estos datos serán enrolados a un profesor.

9.3 Almacenamiento de datos

Cada huella dactilar será enrolada a un profesor, esta información debe de ser visible en tiempo real por el área administrativa, para lograr esta actividad la información debe de estar disponible en una base de datos que pueda ser accedida por medio de internet tanto como para almacenar los nuevos registros como para visualizarlos.

9.4 Visualización de los registros

Con los registros almacenados en la base de datos ya es posible hacer consultas para visualizar la información recopilada y de este modo poder generar los reportes que se requieren en el área administrativa.

CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado el planteamiento para el desarrollo de un sistema que puede tomar la asistencia de los profesores de la Universidad Americana de Acapulco de forma móvil, con la ventaja de tener esta información para poder realizar reportes, se pretende que a futuro estos reportes sean utilizados con un sistema de nómina.

Existen muchos atributos biométricos que se puede tomar para poder realizar la verificación de una persona, pero se ha optado por la huella dactilar debido a que tiene un índice de aceptabilidad más alto, que por ejemplo el reconocimiento facial, este procedimiento tiene que ser móvil debido a que se requiere que la asistencia sea tomada en cada aula, una limitante son las restricciones que tienen los sensores de huellas dactilares incorporados en los smartphones, pero en la actualidad existen sensores que se pueden colocar en los picaportes de las puertas, o pequeños sensores que se pueden incrustar en las superficies y la solución para la movilidad son los sensores bluetooth, incluso este tipo de sistemas se podrían utilizar para brigadas de trabajadores que se reúnen en áreas remotas para realizar sus actividades.

El núcleo del sistema es el proceso de extracción de características y la verificación de las huellas dactilares, existen muchos métodos para realizar estas actividades incluso en la actualidad se está utilizando IA para la extracción de características, donde se entrena a un algoritmo para extraer las minucias más relevantes, en el caso de las huellas dactilares latentes también se están haciendo avances con respecto a la identificación de las huellas dactilares utilizando IA, para este caso en particular se están utilizando algoritmos ya probados con anterioridad que proporcionan un porcentaje de error bajo, al ser este un sistema de identificación la huella dactilar entrante siempre será comparada con la huella almacenada de la misma persona, ya que al momento de realizar el registro de los profesores se hace un enrolamiento con sus huellas, lo que facilita el trabajo de verificación. El sistema está pensado para que las asistencias tomadas sean visibles para el área administrativa, del mismo modo el sistema será capaz de entregar reportes de las asistencias de un mismo profesor en alguna fecha abierta o de una quincena de todos los profesores, estos reportes serán entregados en formato csv o xml para su posterior uso en un sistema de nómina (que es un proyecto a futuro). Con lo cual se obtendrá un sistema autónomo que proporcionará información veraz y esto ayudará a la Universidad Americana de Acapulco a mejorar y/o garantizar la calidad de sus servicios educativos.

REFERENCIAS

- Aguilar, G., Sánchez, G., Toscano, K., Nakano, M., & Pérez, H. (2008). Reconocimiento de Huellas Dactilares Usando Características Locales. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de*, 101-109.
- Akanksha Bali, Shivangi Goswami, & Shagun Sharma. (2019). Biometrics Security in Mobile Application Development and its Applications. *International Journal of Scientific and Technical Advancements*, 5, 51-60.
- Dror, I. E. (2016). A Hierarchy of Expert Performance. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 124. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2016.03.001>
- Krugman, P. (1994). *Peddling Prosperity*. Nueva York, Estados Unidos.
- Moreno, M. C. (2018). *Satisfacción estudiantil de la calidad del servicio educativo en la formación profesional de las carreras técnicas de baja y alta demanda*. Lima, Peru.
- NTIA and ESA, U. D. (2001). *THE DIGITAL WORKPLACE*. U.S.: Current Population Survey.

CAPÍTULO 6

LA EVALUACIÓN DE RIESGOS DE ACOGIDA PARA EL MEJORAMIENTO DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN MARCONA - NAZCA – ICA 2022

Data de aceite: 02/08/2023

Saavedra Silva Bertha Ofelia

Universidad Nacional San Luis Gonzaga

Tincopa Alfaro Julio César

Universidad Nacional San Luis Gonzaga

INTRODUCCIÓN

El Perú al ser un país megadiverso posee una configuración geográfica propicia para la diversidad de pisos altitudinales, climas y especies, asimismo es innato asumir que la variada configuración coloca no solo a la población a ser susceptibles a una variedad de fenómenos sino a la infraestructura y servicios de una determinada área, motivo por el cual es imperativo empoderarnos de medidas de mitigación y/o prevención a fin de convivir con las manifestaciones fenomenológicas con una adecuada gestión a fin que no deriven en desastres, asumiendo que los fenómenos tienen que desarrollarse pero que tenemos que aprender a reducir el riesgo de desastre.

Para la investigación realizada

se aborda la fenomenología del Perú de clasificación de geodinámica interna, específicamente con referencia a sismo y tsunami cuyo escenario es la faja costera de nuestro país en un contexto de pre inversión, es decir antes de la ejecución de un proyecto siendo el caso la evaluación de riesgos en un contexto de acogida que refiere al área de acogida del relleno sanitario del proyecto: “Mejoramiento Integral de Residuos Sólidos en el distrito de Marcona, provincia de Nasca, departamento de Ica” C.U.I 2167778 de conformidad al marco normativo legal Resolución Ministerial 334-2012-PCM y a la Resolución Jefatural 112- 2014-CENEPRED/J que aprueba el “Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales - 2da versión” es necesaria la evaluación de enfocada al riesgo por sismo con proyección a una alerta por tsunami, para tal fin se requiere analizar parámetros de evaluación y susceptibilidad (factores condicionantes y desencadenantes del fenómenos o peligro, se analiza la vulnerabilidad de elementos expuestos al

fenómeno en relación a la fragilidad y resiliencia a fin de determinar y zonificar los niveles de riesgos y la formulación de recomendaciones vinculadas a la prevención y/o reducción de riesgos en el área geográfica objeto de evaluación.

El objetivo de la investigación es: Determinar los niveles de riesgo por peligro de sismos con un efecto cascada de tsunami en el ámbito de acogida del área de proyección del relleno sanitario en el distrito de Marcona, provincia a de Nazca, región Ica. aplicando el procedimiento técnico de Análisis de Riesgos, basados en los Lineamientos Técnicos del Proceso de Estimación del Riesgo de Desastres.

MATERIALES Y MÉTODOS

El método es multicriterio debido a que es un proceso en donde el análisis es jerárquico con un soporte matemático, a fin de consolidar información cuantitativa a partir del trabajo de medición en campo y cualitativa porque se hace uso de plataformas virtuales como el SIGRID del CENEPRED asimismo de todo instrumento científico y de gestión relacionados a la gestión de riesgo.

El material de implementación del proyecto refiere al uso del software Arc Gis para plasmar los contenidos establecidos en las matrices Saaty y expresar en forma georreferenciada el peligro, vulnerabilidad y riesgo del terreno a donde se implementará el relleno sanitario de Marcona.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de riesgos en atención a la recurrencia de fenómenos naturales se encuentra normada por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres – CENEPRED sin embargo es imperante identificar la fenomenología para aplicar la metodología establecida según refiere Muñoz, J (2022) el proceso de evaluación al ser aplicado a un área en donde se va a ejecutar un proyecto es necesario emitir una opinión técnica de acogida tomando en cuenta la población beneficiada pero la evaluación puntualiza el área del proyecto a diferencia de aplicarse a una población establecida y que es necesario identificar su peligro, vulnerabilidad y riesgo, es decir es divergente en su aplicación pero conserva la metodología multicriterio dentro de los lineamientos técnicos.

Al respecto de la información cualitativa se logró recopilar estudios científicos que expresan los impactos que tuvo la población de Marcona durante el sismo que afectó el sur del Perú según detalla el informe de Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI (1996) en donde se demuestra que los daños mayores se dieron en la población de Nazca que presentó 18 690 damnificados en comparación de Marcona que solamente presentó 10 damnificados, atribuyéndose este efecto a la geomorfología del terreno. por otra parte, se establece conforme a los estudios que nuestro territorio es parte del Cinturón de Fuego

del Pacífico según lo detalla Kuroiwa, J (2002) por lo cual existe el peligro de sismo, luego se considera el estudio que expresa Tavera, H (2014) dedicando uno de sus acápitones a la presencia de tsunamis en el Perú ocurridos entre 1868 a 2014 que es la fecha de la publicación manifestando en estos antecedentes que no existe la presencia de tsunami en el puerto de San Juan de Marcona, el límite de zona inundable no llega a la población, por tanto no llegaría en un posible evento a la zona destinada al relleno sanitario, por último en la data cualitativa se tiene el uso de la plataforma Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres - SIGRID fue factible establecer la dimensión social y económica de la población de Marcona, considerándose grupos etarios, material de las viviendas y las condiciones de servicios básicos como agua y energía eléctrica.

En lo refrenante a la información cuantitativa, se trabajó con la matriz Saaty dando el valor a los criterios establecidos a partir de la información recopilada de la información cualitativa, en esta etapa fue necesario realizar encuestas a la población sobre la acogida, conocimiento y expectativa que contaba el proyecto de un relleno sanitario para el distrito, dicha encuesta era de utilidad para construir los parámetros de la dimensión ambiental.

La metodología multicriterio puesta de manifiesto en las matrices de peligro considerando los elementos expuestos y desencadenantes, para la vulnerabilidad las dimensiones social, económica y ambiental, consideran la exposición, fragilidad y resiliencia para finalmente establecer el peligro por sismo.

CONCLUSIÓN

Se concluye tomando en cuenta el nivel del peligro y vulnerabilidad para establecer el riesgo en forma georreferenciada a partir de las matrices, estableciéndose para el terreno destinado para el relleno sanitario un nivel alto ante sismo, siendo este mitigable.

FACTORES CONDICIONANTES	GEOLOGÍA	PENDIENTE	GEOMORFOLOGÍA	MATRIZ DE NORMALIZACIÓN				VECTOR DE PRIORIZACIÓN
GEOLOGÍA	1.000	3.000	4.000	0.632	0.692	0.500	-	0.608
PENDIENTE	0.333	1.000	3.000	0.211	0.231	0.375	-	0.272
GEOMORFOLOGÍA	0.250	0.333	1.000	0.158	0.077	0.125	-	0.120
SUMA	1.58	4.33	8.00	1.000	1.000	1.000	-	1.000
1/SUMA	0.63	0.23	0.13					

Tabla 1. Matriz Saaty referente al peligro ante sismo.

Fuente: Elaboración propia.

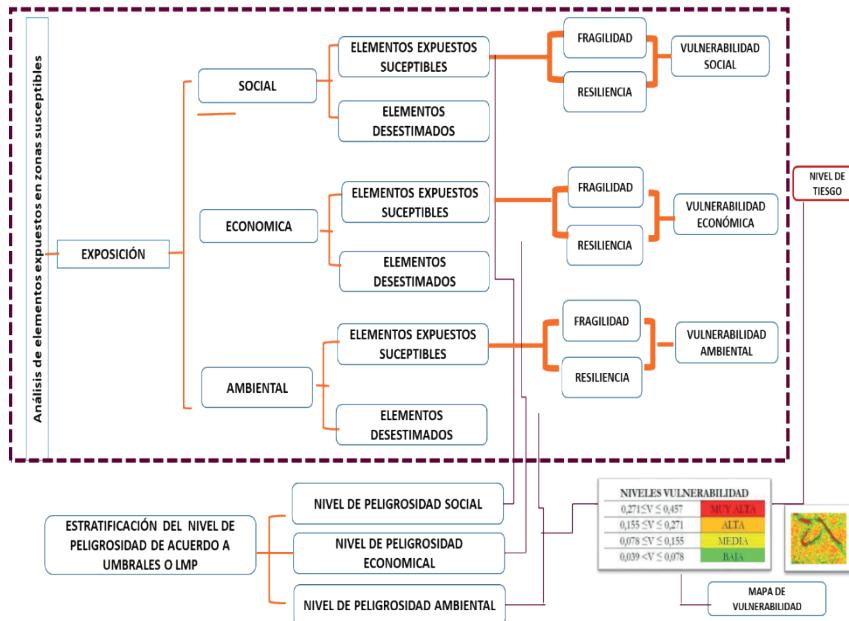
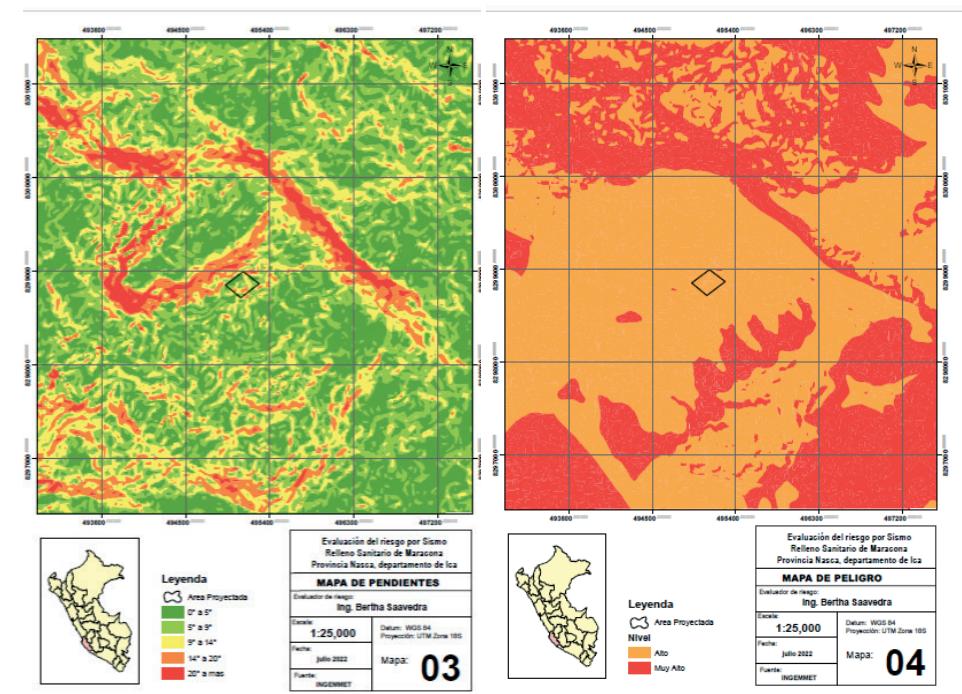
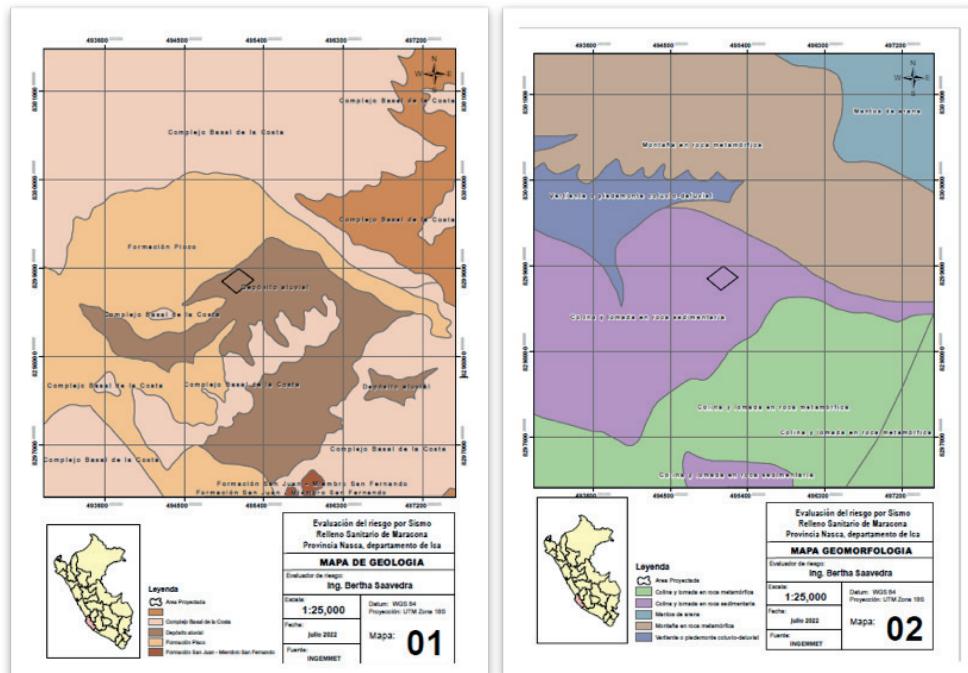


Figura 1, Metodología de la vulnerabilidad.

	Vulnerabilidad Social	Vulnerabilidad Económica	Vulnerabilidad Ambiental	Valor de la vulnerabilidad total
	0.519	0.480	0.449	0.483
	0.263	0.259	0.245	0.256
	0.137	0.143	0.141	0.140
	0.079	0.077	0.081	0.079
	0.042	0.041	0.045	0.043
Promedio	0.208	0.200	0.192	0.200

Tabla 2. Matriz Saaty referente a la vulnerabilidad ante sismo

Fuente: Elaboración propia



REFERENCIAS

CENEPRED, Manual de Evaluación de Riegos originados por Fenómenos Naturales. 2da versión. [en línea] <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/257> (Accedido: 19-ene-2019).

INDECI. (1996) Informe sobre el terremoto ocurrido el 12 de noviembre 1996. Recuperado de https://www.indeci.gob.pe/compend_estad/1996/6_terre.pdf

J. Kuroiwa. *Reducción de desastres Viviendo en Armonía con la Naturaleza*. Lima, Perú: Quebecor World Perú S.A.2002.

Ministerio del Medio Ambiente. Decreto Supremo N° 001-2022- MINAM. Decreto Supremo que modifica el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, aprobado mediante Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, y el Reglamento de la Ley N° 29419, Ley que regula la actividad de los recicladores, aprobado mediante Decreto Supremo N° 005-2010-MINAM.

Muñoz, P (2022) La importancia de la identificación del peligro recurrente en los estudios de evaluación de riesgo, caso práctico en el distrito de cerro colorado (Tesis posgrado) Universidad Señor de San Agustín de Arequipa. Perú

R. Hernández. *Metodología de la Investigación*, 5ta ed. México; McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. [En línea]. Disponible en <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>

Resolución Jefatural 112- 2014-CENEPRED/J. Aprueba el Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales.

Resolución Ministerial 334-2012-PCM Aprueba los “Lineamientos Técnicos del Proceso de Estimación del Riesgo de Desastres.

CAPÍTULO 7

THE PRECIPITABLE WATER VAPOR COLUMN OF THE ATMOSPHERE ON THE REGION ABOVE MEXICO CITY

Data de aceite: 02/08/2023

Palacios-Fonseca Juan

Unidad Académica de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad Autónoma de Nayarit

Mendoza-Torres J. Eduardo

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

Colín-Beltrán Edgar

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

ABSTRACT: In this work we present the results of the analysis of data taken with radio sondes to estimate the atmospheric water vapor content over the region of Mexico City. The water vapor in the atmosphere, integrated in altitude is referred to as Precipitable Water Vapor (PWV), it is an important factor to determine the opacity of the atmosphere for astronomical observations at mm and IR wavelengths. The aim is to identify feasible periods for astronomical observations at locations of the center of Mexico. Also, we want to compare the PWV at mid altitudes with that for high altitudes. With this purpose, the PWV is estimated by calculating the PWV

from various lower limits up to the highest altitude where the sonde takes data (about 20 km). We take 2.0 km as the lowest value for the lower limit of integration. The next lower limit is 2.5 km, and so on. The largest lower limit is 6.0 km. Histograms of PWV obtained for different values of lower limit of integration have been made. The histograms for high altitude lower limits (5.5-6.0 km) have prominent maxima at low values of PWV. The maximum, shifts to larger values of PWV as the lower limit of integration decreases, besides that, as going to lower limits of integration, the PWV spreads more to low values. The spread is larger for Winter time than the Summer one. As a consequence, the PWV, integrated from the altitude of Mexico City (2-2.5 km), has values as low as those observed when integrating from lower limits of 5-6 km altitude. It means, the water vapor content at the region of Mexico City are feasible for Astronomical observations during Winter time.

KEYWORDS: precipitable water vapor, infrared wavelength, meteorological sondes

INTRODUCTION

The importance of the atmospheric water vapor in the climate, and in general in the Earth life, makes it the subject of study in a variety of Sciences, including Astronomy (Otárola et al., 2009), Meteorology, Geophysics (Vogelmann et al., 2008), and also for Weather Forecasting. For all of them, the study of the atmospheric water is important, particularly in the last years due to the global climate change, which is leading to a general warming. Also, it is leading to more extreme short time-scale phenomena, for example, strong precipitations and even floods at some locations and, to the lack of water and even droughts at other sites. The atmospheric water vapor could also play an important role in the Green-House effect.

The amount of Water Vapor at the atmosphere depends on many factors, for example, winds at different directions and different altitudes, convective motions at different altitudes, time-variable local conditions, the orography, masses of water and rivers. All this makes the water vapor at the atmosphere to be highly variable with geographic coordinates and with time.

The water vapor mostly lies in a layer called Troposphere, with its density decreasing with the altitude. The amount of water vapor integrated from the surface of the Earth, in a given site, to the highest altitude of this layer (~ 20 km) is referred to as Precipitable Water Vapor (PWV). The estimation of the water vapor content at a given altitude interval is also useful and we will refer to it as Water Vapor Content (WVC).

The PWV can be estimated by several ways, which include the use of GPS, observations from space at near and mid infrared bands, spectral observations, from the land surface, at water lines at radiowavelengths, Meteorological radio sondes and others. Balloons are released, at given stations, carrying Meteorological sondes that take data of the atmospheric parameters at several altitudes, while the balloon is rising. For each altitude, a series of data is taken and send by telemetry to a ground station. The data may be integrated either from the surface or from other altitude. The computation of the WVC and PWV could be done with various purposes: 1. To compare the WVC at a given altitude with the PWV, with the aim to estimate the input due to a given altitude. 2. To compare the WVC, at a same altitude, over two different sites, to compare the humidity over these two sites. 3. To compare the WVC at a given altitude, with the WVC at another altitude. 4. To compare the PWV integrated from a given altitude to the highest one, estimated at two different times, to compare the atmospheric conditions at the two times.

Looking for Low PWV Sites in Central Mexico for Astronomical Observations

The water vapor content gives an important input for the opacity of the atmosphere and then it plays a central role for Astronomical observations from the land surface. Also, it is important for observations of the Earth from the space. Due to the emission and absorption of several water vapor emission lines, the astronomical observations at

the millimeter wavelength range (Otárola et al., 2009 and Delgado et al., 1999) and at the infrared bands are particularly affected by the water vapor content. The PWV is highly variable with geographic coordinates and at different time scales.

To decrease the influence of the atmospheric opacity in the observations, many astronomy facilities are located at high altitudes. However, the requirements to install and maintain instruments at high altitudes are more difficult to accomplish than at low altitudes, where even the times for installation could be shorter and less expensive, and also the services to maintain the facilities are more affordable. As above pointed out, the PWV is the total water vapor content over a given site. Its monitoring at particular sites could allow one the use of the facilities, during periods of low PWV, improving the quality of the observations (Hills and Richer, 2000) and even giving the possibility to plan the observations based on the PWV forecasting (Pérez-Jordán et al., 2015).

The central region of Mexico is in a medium altitude plateau, surrounded by mountain ridges at the East and West sides. The West ridge is roughly parallel to the coast at the Pacific Ocean and the East one to the Gulf of Mexico. In central Mexico there are several cities at elevations of the order of 2.0-2.5 km and mountains of the order of 3-4 km, as well as volcanoes of 4.5 - 5.6 km.

A phenomenon of an air flow at altitudes of about 10 km, from the Pacific Ocean that arrives to the West coast and travels to the East direction is called subtropical jet stream. The latitude of this stream varies from those of the North of Mexico and South of USA to latitudes at the central region of Mexico, carrying clouds and humidity from the West to the East. Then, it is expected that the humidity at the central region of Mexico, at altitudes of the jet stream, would depend on the humidity at the West coast. However, its relation with the WVC at lower altitudes, in the center of Mexico, has not been studied. It is seen that, the water vapor content in this region is affected by several factors and consequently it undergoes complex variations of various time-scales.

To diminish the influence of the PWV in the observations, many astronomy facilities are located at high altitudes. In the central region of Mexico some astronomical facilities are in operation at high and mid altitudes. The quality of the observations with some of these instruments depends on the atmospheric opacity, which in turn is a function of some parameters, in particular as above mentioned, the water vapor content. For the prospective of new facilities at these sites, or the performance of those already in operation, is of particular interest to have a better knowledge of the variations of the WVC at different time-scales, including long-term variations. Some data, as radio sounding data can be used with the purpose of studying the WVC around this region.

The PWV between low altitude sites could differ respect the one at a higher altitude making the low altitude site more suitable for using telescopes for a given period or season of the year with similar opacity respect the high altitude one. In this work, we analyze radio sonde data with the aim to look for good periods for astronomical observations at mm and

IR wavelengths at mid-altitudes.

Data Acquisition and Data Analysis

We use data of meteorological radiosondes of the station at Mexico City. Meteorological sondes are released in Mexico City two times a day, at noon and at midnight. In this work data taken from 1973 to 2015, at noon, are analyzed, through the different seasons of the year. Mexico City spreads over a large territory. Its nominal altitude is 2.33 km (the altitudes we refer to, here and further, are given respect the sea level), and consequently the data are taken from altitudes above this one. Nevertheless, it is possible to extrapolate the values obtained to estimate the PWV, as if it would be integrated from 2.0 km.

The estimation of the WVC values, for the data of a given sonde, has been made for intervals from h_{ii} to $h_{ii} + \Delta h$, with $\Delta h = 0.5 \text{ km}$, as made by Mendoza-Torres et al. (2021). The first interval used goes from 2.0 km to 2.5 km and so on, it means, further intervals are taken for the next subsequent 0.5 km at higher altitudes. For a series of WVC values of a given sonde, the computation of PWV have been made by summing WVC values, from a given lower limit altitude h_{loll_ii} to h_{up} , with $h_{up} = 9.5 \text{ km}$. Various values of PWV have been computed by taking the lower limit of integration (h_{loll_ii}): 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 and 6.0 km. In all the cases, the upper limit used was $h_{up} = 9.5 \text{ km}$.

In the case of the center region of Mexico a lower altitude limit of particular interest (h_{loll_ii}) is 4.5 km, because it is near the altitude of the summit of the Sierra Negra volcano (4.55 km) in the state of Puebla, a site that harbors various Astronomical facilities.

As above mentioned, the Meteorological sondes at balloons make in-situ measurements. The temperature (T), pressure (P) and relative humidity (RH), typically from altitudes of some dozens of meters, above the surface at the site of release, up to the altitudes attained by the balloons are transmitted to the ground station and recorded.

The column of liquid water equivalent to the column of water vapor is computed. It is the Precipitable Water Vapor (PWV), which is given in mm (Giovanelli et al. 2001), is computed as follows: The temperature of the dew point for each altitude $T_d(h)$ can be estimated according to Lawrence (2005). With these values, the water vapor pressure ($P_s(h)$), also as a function of altitude, may be computed (Alduchov and Eskridge, 1996). Then, using the local temperature at the altitude h , the pressure (P_s), and the ideal-gas law, we can estimate the number density of water vapor molecules at each altitude $nll(h)$. The volume density of water vapor molecules at a given altitude (h) is the product of the number density $n_u(h)$ and the mass of the water molecule, which is 18 amu or $2.99 \times 10^{-23} \text{ g}$. The mass M of a column of water vapor between two different altitudes can be estimated by using the average of (h) between the two given altitudes. The difference between these altitudes may be considered the length of the column for the average volume density. The volume of this column is given by the product of the given length and the base of the

column (which we consider 1 cm^{-2}). Then, the mass of water vapor in a column between two altitudes is obtained just by multiplying the volume of the column and the average volume density between the two given altitudes. The total mass of a column is obtained by integrating (or summing) over all the altitudes. Finally, using the mass of the water vapor column, and the density for liquid water (1 g/cm^3), the column of liquid water equivalent to the column of water vapor is computed. Both, the WVC and PWV are given in mm (Giovanelli et al. 2001).

The WVC is estimated as in Mendoza-Torres et al. (2021). The PWV is estimated from various lower limits up to 9.5 km, which is near the highest altitude where most of the sondes take data (about 10 km). We take 2.0 km as the lowest value for the lower limit of integration. The next lower limit is 2.5 km, and so on. The largest lower limit is 6.0 km.

RESULTS AND DISCUSSION

In Figure 1 the values of PWV integrated from the different lower altitudes (which go from 2.0 to 6.0 km) are shown. The different colors of the data points are for the PWV integrated from different lower altitudes (as indicated in the figure). It may be seen that the PWV integrated from 6 km (data in red) takes the lowest values. The PWV obtained from lower altitudes of integration takes larger values. As expected, the largest PWV values are obtained for the 2 km lower limit of integration. In Figure 2 the PWV data integrated from a series of lower altitude limits (red dots for 6 km, green crosses for 5.5 km, blue circles for 2.5 km and violet crosses for 2 km) are shown, in the left panel the PWV data for August of each year of an interval from 1999 to 2011 and in the right panel for January of each year. These two months are representative of Winter and Summer conditions, respectively and have been chosen to show their behaviour, but in Figures 1 and 5 data for all months are shown.

The PWV of a given station have been averaged over each month of each year. In the left panel of Figure 2, the average for January for the lower limit of 2.0 km is plotted with violet crosses and with blue circles for 2.5 km, green crosses for 5.5 km and red dots for 6.0 km. In the right panel the averaged values of the PWV for data of the August of each year are shown.

Histograms of PWV obtained for different values of lower limit of integration have been made. In Figure 3 the histograms for data from 1973 to 2015 for August (left panel) of the whole interval and for January (right panel). The front-side histogram corresponds to PWV data for the lower limit of 2.0 km. The next histogram in the back is for 2-5 km, and the last at the back-side is for 5.5 km. In Figure 4 the histograms for some given lower limits are shown.

From Figure 2, it may be seen that in August, of the years of the interval plotted, the PWV values for 5.5 km (green crosses) and 6.0 km (red circles) lower limits, considerably differ to the PWV for 2.0 and 2.5 km. In August, there is only one value below 10 mm of PWV

for a 2.0 km lower limit of integration. Contrary to this, in January there are many values smaller than 10 mm for a integration from a lower limit of 2.0 km (violet crosses in the right panel of Figure 2). Also, for a 2.5 km lower limit of integration (blue circles) there are many values below 10 mm in January.

From Figure 3, it is clear that the histograms for August have a prominent maximum at ~ 2 mm (PWV), indicating that values around it take place considerably more frequent than at other PWV. The maximum of the histogram shifts to larger values of PWV as the lower limit of integration decreases. Also, as going to lower limits of integration, the data spreads more over larger ranges of PWV. This behavior is seen also in other Summer months. For January, the histograms for high altitudes (5.5-6.0 km) have prominent maxima but for low altitudes, the histograms are considerably more spread, to low values of PWV, than for Summer data. As a consequence of this behavior, the PWV, integrated from the altitude of Mexico City (2-2.5 km), has values as low as those observed when integrating from lower limits of 5-6 km altitude. It means, the water vapor content at the region of Mexico City is feasible for Astronomical observations during Winter time.

The data plotted on both, the left panel of Figure 2 and the left panels of Figure 3 and 4, it may be seen that a part of the integrated PWV from 2.0 km has values lower than 5 mm, which are feasible for Astronomical observations at MIR. Also, in Figure 5 the histogram for the PWV data computed for the 2.0 km lower limit is very spread. This indicates that the behavior of the PWV data, for 2.0 km limit, is more influenced for the PWV data of Winter than for Summer

CONCLUSIONS

It is found that for summer time the histograms of the PWV have a clear maximum that shifts to lower values as the lower limit altitude increases. For winter time, the histogram for PWV at low altitudes does not have a prominent maximum and the histograms are considerably more spread than in summer. The behavior of the histograms indicates that, for some periods, the PWV at 2 km could be as good as at 6 km for Astronomical observations. Nevertheless, for an altitude of 6 km, the PWV is predominantly low.

REFERENCES

Alduchov Oleg, Eskridge Robert, 1996, Improved Magnus Form Approximation of Saturation Vapor Pressure, Journal of Applied Meteorology, 35-4, 601-609.

Delgado G. A., Belitsky V., & Urbain D. Otarola, 1999, MMA Memo 271. NRAO.

Giovanelli Riccardo, Darling Jeremy, Henderson Charles, Hoffman William, Barry Don, Cordes James, Eikenberry Stephen, Gull George, Keller Luke, Smith J. D.,

Stacey Gordon, 2001, Publications of the Astronomical Society of the Pacific. 113-785, 803-813.

Lawrence Mark G., 2005, The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air: A simple conversion and applications. Bull. Amer. Meteor. Soc., 86, 225-233.

Mendoza-Torres, J.E., Colín-Beltrán E., Ferrusca D., and Contreras R.J., The Local Dew Point Temperature, Water Vapor Pressure and the mm-Wavelength Opacity at the Sierra Negra Volcano, A&A 649, A12, 2021.

Otárola D., Hiriart, and J. E. Pérez-León, 2009, Statistical Characterization of Precipitable Water Vapor at San Pedro Mártir Sierra in Baja California. Rev. Mex. Astron. Astrofis., 45, 161-169.

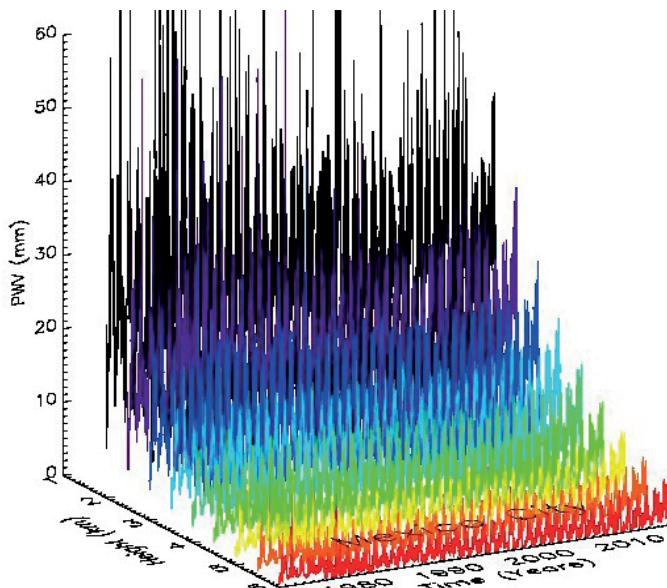


Figure 1. PWV data for the whole period (from 1973 to 2015), integrated from different lower altitudes (black-2 km, violet-2.5 km, dark-blue-3 km, light-blue-3.5 km, dark-green-4 km, light-green-4.5 km, yellow-5 km, orange-5.5 km and red-6 km. In the X- axis the time is given, in the Y-axis the lower limit altitude is given and in the Z-axis the PWV

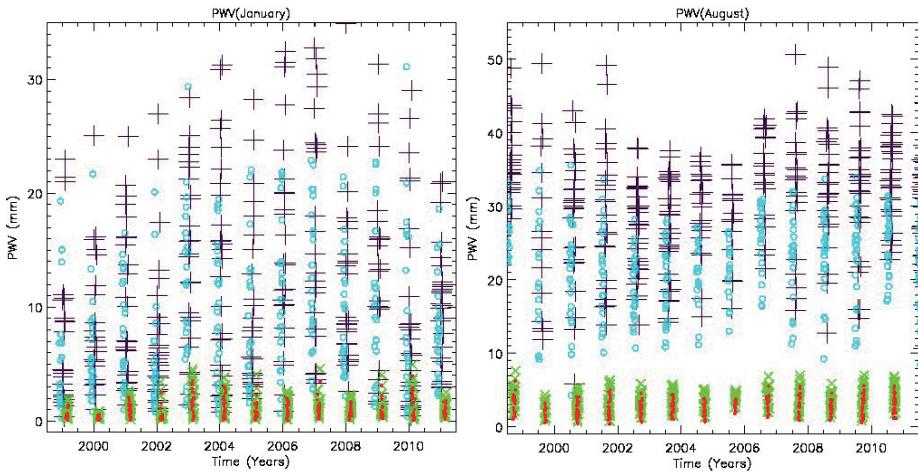


Figure 2. *Left.* The PWV data for January of each year from 1999 to 2011. The red dots correspond to the PWV integrated from 6 km, the green crosses to the PWV integrated from the lower altitude of 5.5 km, blue circles from 2.5 km and violet crosses from 2 km. *Right.* The PWV for data of August of each year.

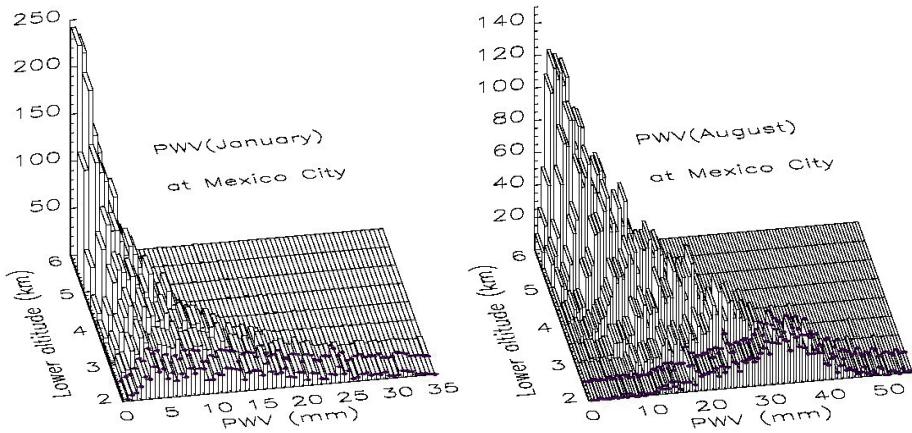


Figure 3. Three dimensional histograms of PWV for monthly data, in the X-axis the PWV (in mm) is given, in Y-axis (**which goes from the front to the back-side**) the lower altitude (in km) from which the PWV is integrated and in the Z-axis the frequency of occurrence (the values of the Z-axis correspond to adimensional numbers). The histograms are made with data for the entire time interval, from 1973 to 2015 integrated, from back-side to the front-side 5.5, 5.0, 4.5, 4.0, 3.5, 3.0, 2.5 and 2.0 km. *Left*, for January of the whole interval and *Right*, for August, also for data of the whole interval.

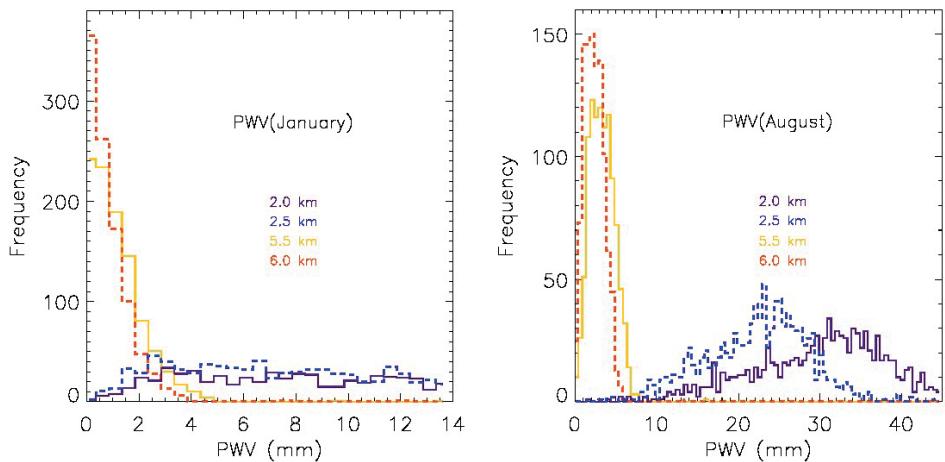


Figure 4. Histograms for the PWV values obtained for different lower altitudes of integration (given in a list in the center of the plot) for the time interval from 1973 to 2015. The plots are like front views of cuts at some selected Lower altitudes (given in Y-axis) of Figure 3, the one at the back-side and an additional one for a 6 km lower limit of integration. *Left*. For PWV data of January of the entire interval. It may be seen that the maximum of the histogram shifts to lower values of PWV with the altitude and that the frequency of occurrence around this maximum grows (also with altitude). *Right*. For PWV values of January of the entire interval.

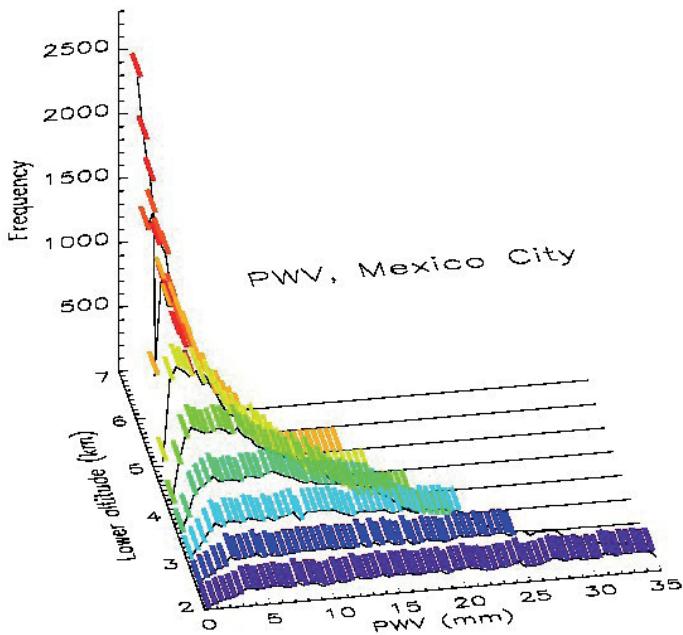


Figure 5. The same as Figure 1, from back-side to the front-side are for 6.0, 5.5, 5.0, 4.5, 4.0, 3.5, 3.0, 2.5 and 2.0 km lower limits of integration. The histograms are made with data of all months for the entire time interval, from 1973 to 2015.

CAPÍTULO 8

CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN DEL ÁREA NATURAL EL SALITRE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SENDERO INTERPRETATIVO

Data de aceite: 02/08/2023

Osmel Alberto Sánchez

Investigador en Programa de Medio Ambiente en la Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social, Universidad Gerardo Barrios
<https://orcid.org/0000-0002-4906-8669>

María Fernanda Gavidia Guerrero

Docente Investigadora de Ciencias Empresariales en la Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social, Universidad Gerardo Barrios
<https://orcid.org/0000-0002-6488-3610>

RESUMEN: El ecoturismo es la modalidad más apropiada y compatible en las Áreas Protegidas (AP) debido a que tiende a valorar los recursos naturales y culturales, de menor impacto en el medio y requiere de infraestructura mínima. (Serrano, 2011), En un proceso de planificación del ecoturismo, un área natural protegida tiene la necesidad de identificar aquellos atractivos turísticos actuales y potenciales. (Ortiz et al, 2013). La investigación se desarrolló en el área natural El Salitre, el objetivo del estudio fue Caracterizar la vegetación arbórea y arbustiva del área natural El Salitre. El Salitre se clasifica como un Bosque Tropical

Seco (bs-T). A partir de la información recabada, se hizo uso de herramientas tecnológicas para la interpretación de la flora identificada; el aprovechamiento consiente de los recursos tecnológicos para la educación ambiental, potenciando. En el sendero tecno interpretativo la vegetación registrada fue de 127 especies, distribuidas en 35 diferentes especies, se registraron árboles de gran altura siendo estos de 94 árboles representados por 28 tipos de especies. Las especies arbustivas se encontraron 19 especies representadas por 15 diferentes especies y 14 planta rastrera con 3 especies. De acuerdo al Listado Oficial de las Especies de Vida Silvestre Amenazada o En Peligro de Extinción (MARN, 2015), se encontraron 2 especies en ese estado de las cuales 1 especie pertenece a la familia Leguminosae, *Albizia adinocephala* Guanacaste blanco Amenazada, familia Moraceae *Maclura tinctoria* Mora en la categoría de Amenazada.

PALABRAS-CLAVE: Área natural, educación ambiental, Especies, sendero interpretativo, tecnología

ABSTRACT: Ecotourism is the most appropriate and compatible modality in

Protected Areas (PA) because it tends to value natural and cultural resources, has less impact on the environment and requires minimal infrastructure (Serrano, 2011) . In an ecotourism planning process, a protected natural area needs to identify current and potential tourist attractions (Ortiz et al., 2013). The research was developed in the natural area El Salitre, the objective of the study was to characterize the arboreal and shrub vegetation of the natural area El Salitre. El Salitre is classified as a Tropical Dry Forest (bs-T). Based on the information collected, technological tools were used for the interpretation of the flora identified; the conscious use of technological resources for environmental education was promoted. In the techno-interpretative trail, 129 species of vegetation were recorded, distributed in 35 different species; 94 trees of great height were recorded, represented by 28 types of species. The shrub species were 19 species represented by 15 different species and 14 creeping plants with 3 species. According to the Official List of Threatened or Endangered Wildlife Species (MARN, 2015), 2 species were found in that status of which 1 species belongs to the Leguminosae family, *Albizia adinocephala* Guanacaste white Threatened, Moraceae family *Maclura tinctoria* Mora in the Threatened category.

KEYWORDS: Natural area, interpretative trail, environmental education, technology Species

1 | INTRODUCCIÓN

El senderismo se originó en Francia en 1940, allí se inició la creación de los primeros Senderos de Gran Recorrido (Opazo, 2012) En ese entonces se le consideraba como una actividad vinculada a los deportes de montaña, sin embargo, tiempo después alcanzo un ámbito particular y empezó a verse como una alternativa para practicar en el tiempo libre. Un sendero es un pequeño camino que permite recorrer con mayor facilidad y seguridad un área determinada. (Tacon et al, 2004)

Con la aparición del término “ecoturismo” se busca la vinculación de tres componentes primordiales para la conservación de áreas naturales entre los que se encuentra la educación ambiental, la participación local y la generación de ingresos (Torres, 2012) ; bajo esta línea, surge una variable del senderismo conocida como “senderos interpretativos” que son una herramienta educativa cuya principal finalidad es la de comunicar sobre el valor de la conservación del patrimonio cultural y la biodiversidad de las comunidades.

En los medios más comunes de interpretación ambiental en México, se encuentran los senderos interpretativos los cuales, en el ámbito metodológico de la Educación Ambiental, constituyen en la actualidad como una importante herramienta de comunicación socioambiental, principalmente se basa en un proceso de comunicación, que nos ayuda entre otras finalidades a actuar ante los desafíos ambientales. (Máquez, 2016).

Los senderos interpretativos se basan en extraer para el excursionista o turista, la mayor información posible del entorno que visita, abarcando una gran cantidad de elementos como la geología, la historia del lugar y la biodiversidad que conforman las bases de ese ecosistema, sus hábitos y ritmos que lo habitan. (Tacon et al, 2004).

Según informes del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a pesar de

su pequeña extensión territorial y de su alta densidad poblacional, El Salvador mantiene una biodiversidad significativa, con buena representatividad de ecosistemas y especies y con recursos genéticos de importancia regional y mundial. El país cuenta con varios tipos de formaciones vegetales, como la submontana, páramos, formación 2 estacionalmente saturada, pinares, bosques nebulosos, bosques salados, formación ecotonal, morrales, lavas y matorrales (MARN. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014). A partir de esta riqueza natural, el país también posee zonas nombradas como Áreas Naturales Protegidas.

Las Áreas Naturales Protegidas son zonas del territorio nacional que pueden ser propiedad del Estado, del municipio, de entes autónomos o privados y de personas naturales; legalmente establecidas con el objeto de posibilitar la conservación, el manejo sostenible y restauración de la flora y fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales (MARN M. d., 2017). Son 193 las áreas nombradas como Áreas Naturales Protegidas en El Salvador (MARN M. d., 2022).

Según la Clasificación de la Vegetación la zona de vida según (Holdridge, 1964), El Salitre se clasifica como un Bosque Tropical Seco (bs-T), además de identificarse como un Área Natural Privada con una alta presencia de biodiversidad.

Bosque seco Tropical (Bs-T) presenta un ámbito de precipitación entre 800 y 2100 mm de precipitación media anual. La característica fundamental en esta zona de vida es la disminución marcada de las precipitaciones que se da entre los meses de noviembre a mayo (conocido como estación seca o erróneamente verano). Este fenómeno determina una periodicidad muy marcada en la fenología de la vegetación. Durante la estación seca, una gran cantidad de especies forestales producen llamativas floraciones (INA, 2019).

2 | MATERIALES Y METODOS

Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en el área natural El Salitre, cuya ubicación se encuentra sobre carretera antigua a Quelepa, departamento de San Miguel, siendo sus coordenadas geográficas: Latitud norte 13° 31'12.66 «N y Longitud Oeste 88 ° 12'4.89» O.

Según la Clasificación de la Vegetación de las zonas de vida (Holdridge, 1964), El Salitre se clasifica como un Bosque Tropical Seco (bs-T) y posee una vegetación arbórea alrededor de la zona. En esta área existe un remanente de bosque natural. El área total es de 304 Mz y además posee un cerro con un área de 11 Mz y una altura de 280 msnm.

El área natural Salitre disfruta de un equilibrio entre lo ecológico y lo cultural. Combina casa antigua con áreas verdes cuidando de la vegetación del lugar, volviéndolo así un sitio alejado de las molestias de la ciudad y de fácil accesibilidad para las personas y estudiantes procedentes de distintos puntos geográficos de la Zona oriental.

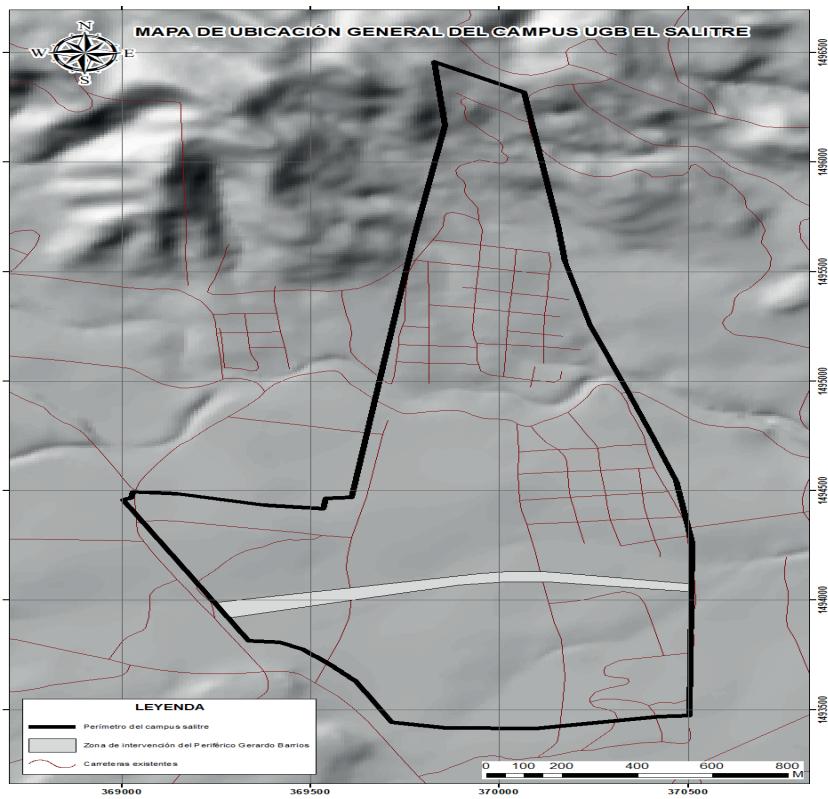


Figura 1. Ubicación espacial del área natural Salitre

2.1 METODOLOGÍA DE CAMPO

El estudio de campo consistió en la aplicación de un inventario de flora para describir las especies con las cuenta la zona de estudio; para esta aplicación se realizaron 4 viajes de campo, iniciando con la prospección de la zona, con el objetivo de reconocer el área, definir con certidumbre la metodología a utilizar, programación de actividades y los espacios seleccionados para su ejecución.

Durante el proceso de muestreo se registraron todas las especies de plantas, incluyendo datos como el nombre científico, nombre común y anexando una fotografía por cada individuo; en el caso de que la planta no pudiera ser identificada inmediatamente se registraron algunas características más importantes y se procedió a identificarlas haciendo usos de claves taxonómicas, literatura especializada, aplicaciones como PlantNet, además de la consulta con especialistas en el tema.

Para la tabulación de los datos, se recolectó toda la información generando un

portafolio con el inventario de flora y se aplicaron métodos estadísticos para identificar el número de especies y las características predominantes.

Tomando como punto de partida la información recolectada con el inventario, se elaboró una base de datos con descripciones completas de cada una de las especies, rescatando aquellas de mayor valor o identificadas como de importancia ecológica, alimenticia, medicinal, ornamental y algunas clasificadas como amenazadas según el listado oficial del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN 2015). A partir de esta base de datos se integra un elemento tecnológico basado en la utilización de códigos QR para la rotulación de cada una de las especies identificadas en el sendero, esto con el objetivo de que funcionen como herramientas para la interpretación de la información, de manera que, todo aquel que visite El Salitre, pueda escanear estos códigos con su celular y tener acceso a todo lo que necesite saber sobre la planta, árbol o arbusto que este observando. Es así como el visitante podrá interpretar la información de cada una de las especies mientras comparte en un espacio de naturaleza y práctica senderismo.

3 | RESULTADOS

La vegetación de la zona de El Salitre se caracteriza por tener especies del estrato de árboles alto, medianos además hay presencia de arbustos en diferentes estadios de desarrollo desde plantas rastreras y especies con alturas promedio de 15 metros. En el sendero tecno interpretativo la vegetación registrada fue un total de 130 plantas vasculares superiores, los cuales se encontraron 35 diferentes tipos de especies de las cuales la mayoría son especies arbóreas con un total de 94 árboles estos con 28 diferentes tipos de especies. Las especies arbustivas, con un total de 26 individuos con 4 diferentes especies y plantas rastreras se encontraron en un total de 10 individuos, con 3 diferentes tipos de especies. (Cuadros 1,2). De acuerdo al Listado Oficial de las Especies de Vida Silvestre Amenazada o En Peligro de Extinción (MARN 2015), se encontraron 2 especies en ese estado de las cuales 1 especie pertenecen a la familia Leguminosae, *Albizia adinocephala* Guanacaste blanco Amenazada, y Moraceae *Maclura tinctoria* “Mora” Amenazada.

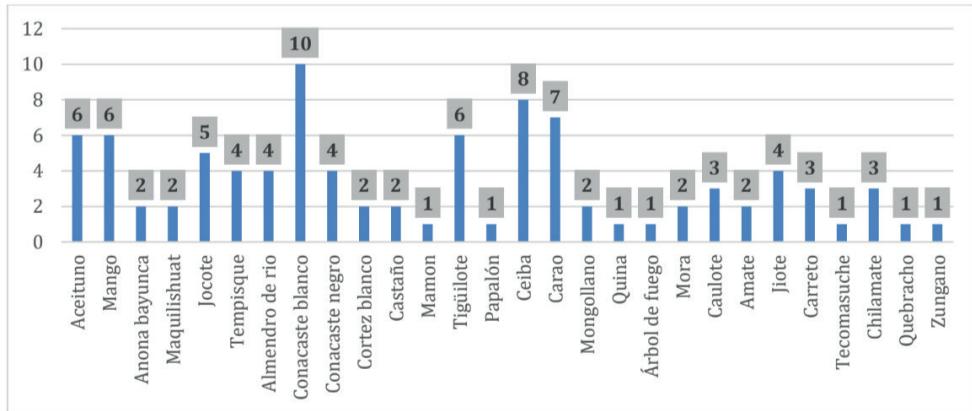


Figura 2. Composición de 94 especies arbóreas identificadas en el sendero interpretativo área natural Salitre

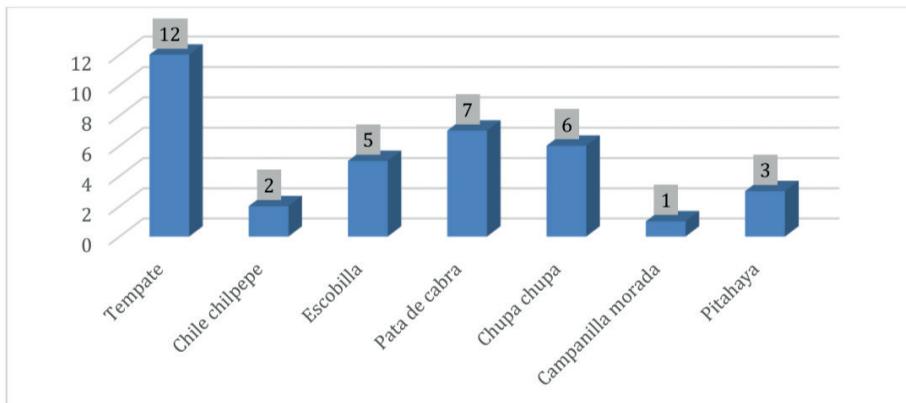


Figura 3. Composición de 36 especies arbóreas y rastreras identificadas en el sendero interpretativo área natural Salitre

Del inventario de vegetación, reportadas en el área natural Salitre se encontraron un total de 35 especies diferentes pertenecientes a 19 familias en este estudio. Las familias con mayor representación son Leguminosae, Malvaceae, Euphorbiaceae, Bignoniaceae, Moraceae, Anacardiaceae y Annonaceae (Figura 4)

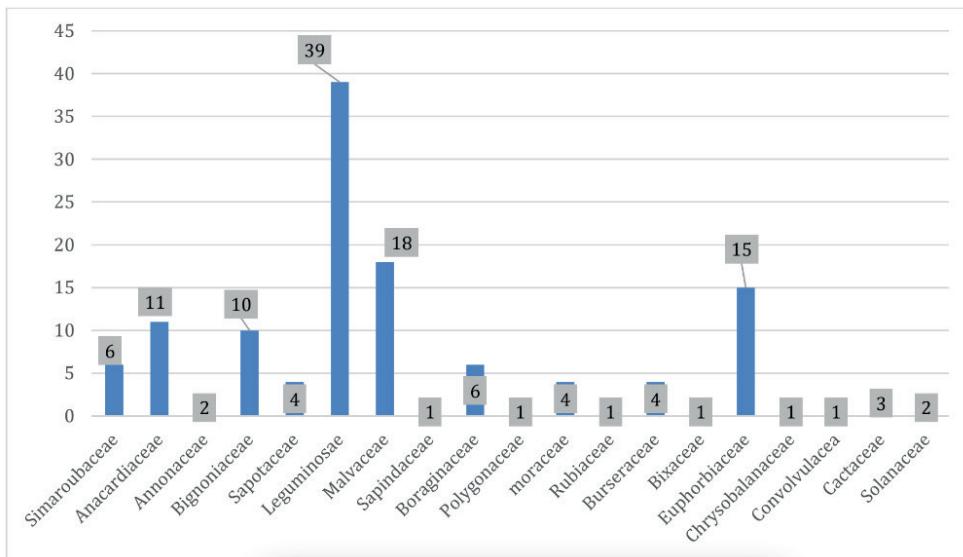


Figura 4. Distribución de las familias arbóreas identificadas en el sendero interpretativo área natural Salitre

4 | DISCUSIÓN

Los senderos interpretativos en el ecoturismo pueden funcionar como una estrategia adecuada para fomentar la conservación del entorno natural y la cultura de una zona determinada, permitiendo generar ingresos para las comunidades locales en El Salvador (Flores & Leiva, 2017). Según una investigación realizada por (Herrera & Villalobos, 2019), la mayor parte de personas que visitan los parques naturales en El Salvador son locales y nacionales que buscan actividades que involucran naturaleza y cultura. A través de los senderos interpretativos se pueden cubrir y satisfacer estas necesidades de los visitantes promoviendo, además, el desarrollo sostenible en la zona.

A nivel nacional, el estudio realizado por Virginia Salzman en 1996 “Inventario de la Flora del Parque Nacional Walter Thilo Deininger”, otro sitio característico de bosque tropical seco presenta datos muy similares de composición florística a los del área natural salitre, las especies arbóreas comúnmente reportadas concuerdan en gran medida con las reportadas en este trabajo y para mencionar algunas como ejemplo están: *Bursera simaruba* (L.) Sarg. “jíote”, *Cochlospermum vitifolium* Willd. “tecomasuche”,

Los datos reflejan que las familias más diversas en especies son Leguminosae, Euphorbiaceae y Rubiaceae entre otras y en cuanto a abundancia de especies por área coincide con las familias reportadas en las reportadas en el área natural Salitre, las familias con mayor representación son Leguminosae, Malvaceae, Euphorbiaceae, Bignoniaceae, Moraceae, Anacardiaceae y Annonaceae

Las familias reportadas en las reportadas en el área natural Salitre, las familias

con mayor representación son Leguminosae, Malvaceae, Euphorbiaceae, Bignoniaceae, Moraceae, Anacardiaceae y Annonaceae que concide con Estudios realizados por CODECA-PROARCA-. COSTAS 2005 en donde la dominancia de familias es de Leguminosas, Moraceas, Rubiaceas, son las familias más comunes, conteniendo esta comunidad vegetal la mayor diversidad

El desarrollo del ecoturismo en El Salvador enfrenta varios desafíos. Un estudio publicado en la Revista Científica en Ciencias Administrativas encontró que la falta de infraestructura turística y la inseguridad son los principales obstáculos para el desarrollo del ecoturismo en el país (Amaya, Rivas, & Zelaya, 2019). Además, la falta de educación y conciencia ambiental en la población local puede afectar negativamente la conservación de los recursos naturales y culturales (Bautista, 2021).

Es importante tener en cuenta la planificación y el diseño de los senderos interpretativos para maximizar su efectividad en la promoción del ecoturismo. Un estudio del 2021 encontró que la inclusión de elementos como señalización adecuada, información sobre la biodiversidad y la cultura local, y la posibilidad de realizar actividades al aire libre son factores importantes para la satisfacción de los visitantes (Vásquez & Romero, 2021).

Los senderos interpretativos y el ecoturismo pueden ser una oportunidad valiosa para el desarrollo sostenible en El Salvador y más específicamente para el departamento de San Miguel. A pesar de los desafíos que enfrenta este sector, se pueden implementar medidas para mejorar la infraestructura turística, garantizar la seguridad de los visitantes y promover la conservación del medio ambiente y la cultura local. Fomentar el diseño efectivo de los senderos interpretativos en zonas naturales como El Salitre, una de las pocas ubicadas en las cercanías de la Ciudad de San Miguel, pueden ser claves para lograr un ecoturismo sostenible en El Salvador y revalorizar, a través de la educación ambiental, cada una de las especies identificadas en el estudio.

CONCLUSIONES

Basado en los resultados de la investigación, es posible concluir que el ecoturismo es una modalidad adecuada para el aprovechamiento y conservación del Área Natural El Salitre, permitiendo valorar sus recursos naturales y culturales en armonía con el medio ambiente y requiriendo de infraestructura mínima.

La caracterización de la vegetación en el área natural El Salitre permite su interpretación mediante el uso de herramientas tecnológicas, lo que potencia la educación ambiental y el aprovechamiento consciente de los recursos naturales. En el sendero interpretativo se identificó un total de 130 especies de vegetación distribuidas en 19 familias de diferentes tipos de especies, destacándose la presencia de árboles de gran altura (94 individuos de 28 especies), arbustos (26 individuos de 4 especies) y rastreras (10 individuos de 3 especies).

Es importante destacar la presencia de dos especies de la flora registradas en la investigación, *Albizia adinocephala* (Guanacaste Blanco) y *Maclura tinctoria* (árbol de Mora), que se encuentran en la categoría de Amenazada según el Listado Oficial de las Especies de Vida Silvestre Amenazada o En Peligro de Extinción (MARN, 2015). Por lo tanto, es necesario seguir promoviendo el ecoturismo en el área natural El Salitre, bajo un enfoque de conservación y protección de la biodiversidad, para garantizar la continuidad de las especies en peligro de extinción.

El área natural El Salitre, según sus características, se clasifica como un Bosque Tropical Seco de gran importancia ecológica y que funciona como hábitat de cientos de especies que aprovechan sus condiciones para subsistir y reproducirse; siendo una de las pocas zonas que genera estos beneficios en el oriente del país y específicamente en el departamento de San Miguel.

La investigación realizada demuestra la importancia de identificar los atractivos turísticos y la riqueza de la flora y fauna presente en la zona, así como una oportunidad de seguir fomentando el uso responsable de los recursos naturales y culturales para la educación ambiental y la protección de la biodiversidad.

REFERENCIAS

- Amaya, O., Rivas, R., & Zelaya, E. (2019). Potencialidades y limitaciones del ecoturismo en El Salvador. *Revista Científica en Ciencias Administrativas*, 3, 40-50. Obtenido de <https://www.ues.edu.sv/publicaciones/revistacca/volumen3/numero1/3.pdf>
- Bautista, J. (2021). Turismo sostenible y educación ambiental en El Salvador: reflexiones para su implementación. *Perspectiva Geográfica*, 26, 109-128. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/pg/article/view/83637>
- Flores, A., & Leiva, H. (2017). Turismo rural y senderismo interpretativo en El Salvador. *Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 15, 357-370. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/1793/179358378016/html/>
- Herrera, C., & Villalobos, J. (2019). Análisis del perfil de visitantes de los parques nacionales de El Salvador. *Revista de Investigación Académica*, 24. Obtenido de <https://www.ues.edu.sv/publicaciones/riac/numero24/7.pdf>
- Holdridge, L. R. (1964). *Life zone ecology*. San José, Costa Rica: Tropical Science Center. Recuperado el 4 de Enero de 2023, de https://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/holdridge_1966_-_life_zone_ecology.pdf
- INA, I. N. (2019). *Historia Natural de Costa Rica*. San José: Instituto Nacional de Aprendizaje INA. Recuperado el 04 de Enero de 2023, de https://www.ina-pidte.ac.cr/pluginfile.php/19801/mod_resource/content/1/Vegetacion%20de%20Costa%20Rica%20%28v-asec%29.pdf
- Máquez. (2016). *Interpretación ambiental en México* .

MARN. (2015). *Listado Oficial de Especies Amenazadas o en Peligro de Extinción*. Informe, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Vida silvestre,, San Salvador. Recuperado el 5 de enero de 2023, de MARN: <https://cidoc.marn.gob.sv/documentos/acuerdo-n-74-listado-oficial-de-especies-de-vida-silvestre-amenazadas-o-en-peligro-de-extincion/>

MARN, M. d. (2017). San Salvador. Obtenido de <http://rcc.marn.gob.sv/bitstream/handle/123456789/45/Areas%20Naturales%20Protegidas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MARN, M. d. (2022). *LISTADO DE INMUEBLES DECLARADOS COMO ÁREA NATURAL PROTEGIDA*. San Salvador. Obtenido de <https://www.transparencia.gob.sv/institutions/marn/documents/519477/download>

MARN. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). *Quinto Informe Nacional para el Convenio sobre la Diversidad Biológica*. San Salvador. Recuperado el 3 de Enero de 2023, de <https://www.cbd.int/doc/world/sv/sv-nr-05-es.pdf>

Moreno, M., Hernández, N., & Chávez, D. (2017). La importancia de la participación comunitaria en el desarrollo turístico sostenible de la zona costera de El Salvador. *Revista de Investigación Científica y Tecnológica*, 13, 25-32. Obtenido de <http://www.redalyc.org/journal/4399/439952119003/html/>

Opazo, K. (2012). *Metodología piloto para la clasificación de senderos en Áreas Protegidas de la Región de Los Ríos*. Tesis , Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Valdivia. Recuperado el 6 de enero de 2023, de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/fifc413m/doc/fifc413m.pdf>

Ortiz et al. (2013). *Guía para la planificación del ecoturismo en parques nacionales naturales de Colombia*. Servicios del Patrimonio Natural y del Gobierno de Colombia. Bogota: Ediprint Ltda. Recuperado el 5 de enero de 2023, de https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2014/05/guia_planificacion_ecoturismo_pnn.pdf

Serrano, S. G. (2011). *Serrano, S. (2011). El turismo en las áreas protegidas como medio para lograr el desarrollo sustentable en Centroamérica*. Tesis, Universidad de mar de plata, mar del 'plata. Recuperado el 5 de enero de 2023, de <http://nulan.mdp.edu.ar/15>

Tacon et al. (2004). *Manual de senderos de uso publico*. Tesis, Valdivia.

Torres, A. M. (2012). *Diseño de un protocolo para la creación de senderos turísticos mediante la incorporación de atributos de diversidad funcional*. Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana, Ciencias biología, Bogota. Recuperado el 6 de enero de 2023, de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11874/BernalTorresAngelaMarcela2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vásquez, D., & Romero, G. (2021). Senderismo interpretativo: una herramienta para el desarrollo sostenible del turismo en El Salvador. *Revista de Turismo y Desarrollo Local*, 34, 13-29. Obtenido de <https://revistas.um.es/turismo/article/view/440211/303941>

CAPÍTULO 9

DISEÑO, ENSAMBLAJE Y PUESTA EN MARCHA DE UN MONTAJE EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACIÓN ÓPTICA EN TEJIDOS BIOLÓGICOS

Data de aceite: 02/08/2023

Danielle Viviana Ochoa Arbeláez

Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Orcid: 0000-0001-9730-8965

Efraín Solarte Rodríguez

Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Orcid: 0000-0003-4606-0925

José Oscar Gutiérrez Montes

Universidad del Valle, Cali, Colombia.

<https://scholar.google.es/citations?user=b8MK474AAAAJ&hl=es>

que permitan estudiar la interacción luz-materia, se realizó un montaje experimental flexible para caracterizar las fuentes de luz utilizables y también realizar mediciones de *Reflectancia* (colimadas) así como estudios de *Fluorescencia* en tejidos biológicos utilizando fuentes de luz halógenas, LASER (405nm, 532nm y 650nm) y diodos emisores de luz LED (380nm, 395nm, 518nm, 590nm y 640nm). El montaje experimental utiliza láseres de fácil consecución y un sistema óptico que permite preparar el haz de luz y enfocarlo sobre la muestra en estudio.

La respuesta fenomenológica se mide con un fotómetro de celda de Silicio y las medidas espectrales se realizan con mini espeíctrómetros en montajes de fibra óptica.

PALABRAS-CLAVE: Biofotónica, LASER, LED, Espectroscopía, Tejidos biológicos.

RESUMEN: La espectroscopía y la irradiación en los rangos del Ultravioleta visible (UVvis) al Infrarrojo cercano (NIR), son herramientas importantes en las investigaciones más recientes, sobre de tejidos biológicos (Banavath, H.N., et al., 2018, pp. 35-40). Por una parte, las propiedades ópticas de los tejidos dependen de la energía de los fotones y de acuerdo con el rango espectral y de la dosis de irradiación, la aplicación de energía luminosa sobre tejidos biológicos puede conducir a diferentes aplicaciones tanto en las ciencias biológicas como en las de la salud (Hopkins, S.L., et al., 2016, pp. 644-653). Para llevar a cabo experimentos

INTRODUCCIÓN

La espectroscopía es una rama de la óptica que nos permite estudiar la interacción entre la radiación y la materia. Entre los métodos espectroscópicos que más se usan está la radiación electromagnética de la cual hace parte el espectro visible en el rango de 380nm a

780nm. (Wallace, M.B., et al., 2009, pp. 233–242).

Estos espectros permiten determinar la composición atómica y molecular de un material y en este caso de un tejido biológico y, en función de las características de la luz empleada, podemos generar aplicaciones terapéuticas sobre células anormales irradiadas. (Dominguez, A., et al., 2009, pp. 21-28).

Los efectos biológicos y fisiológicos se estudian controlando la irradiación sobre el crecimiento de tejidos biológicos usando métodos estándar de reflectancia, fluorescencia y mediante la observación microscópica de los cambios morfológicos de las células. (Gheewala, T., Skwor, T., & Munirathinam, G. 2018, pp. 130–137).

La luz reflejada por un material es un tipo de interacción de la radiación con la materia que se define como el retorno de la radiación electromagnética por el material sobre el que incide, ocurre en el mismo medio que el haz incidente y depende del cociente entre la intensidad de la luz reflejada y la incidente. (Abebe T., 2010, pp. 8-9).

La fluorescencia es un tipo de emisión de la radiación electromagnética que se produce cuando partículas excitadas (átomos, iones, moléculas) se relajan y pasan a niveles de energía inferiores cediendo el exceso de energía en forma de fotones. Esta radiación emitida tiene longitud de onda más larga que la radiación que originó la fluorescencia. (Pérez, A., et.al. (2006). pp. 487–508).

La caracterización óptica en tejidos biológicos hace parte de los estudios previos para la aplicación en este caso de la terapia óptica que, promete una nueva revolución en el campo investigativo, de acuerdo con las propiedades de las fuentes empleadas con buena resolución espacio temporal, selectividad de acuerdo con su longitud de onda, especificidad y direccionalidad. (Glicksman, M. A. (2018), 1060–1065).

Los efectos ópticos de reflectancia y fluorescencia producidos o inducidos por irradiación con LÁSER se miden de los espectros de las muestras irradiadas (Darío, H., 2008, pp. 2-5). Por ejemplo, se realizó el estudio de los efectos de la radiación óptica de diferentes longitudes de onda, y de luz casi monocromática producida por LÁSER sobre Alas de mariposa de la especie *Heliconius Sara* para comprobar el diseño, ensamblaje y puesta en marcha del montaje experimental construido para medición en tejido biológico. (Sedano, RE., Calero, H., 2021, pp. 374-384).

Este montaje experimental, construido, ensamblado y caracterizado para medición espectroscópica en tejidos biológicos, se usará sobre cultivos de células leucémicas.

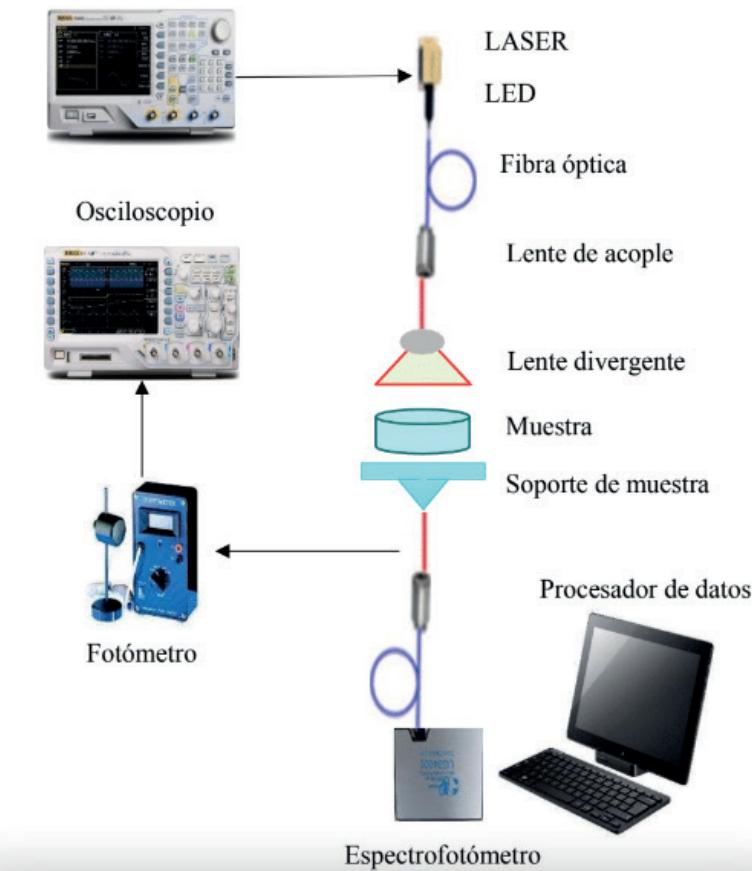
MÉTODO

La metodología implementada para el diseño, caracterización óptica y puesta en marcha del montaje experimental, controla ciertos factores como la potencia óptica, la longitud de onda de las fuentes de luz LÁSER Y LED empleadas, la intensidad de luz que recibe el tejido y el tiempo de exposición al que será expuesto. Es decir, la dosis de luz que

incidirá sobre el tejido biológico (Neira, R., et al., 2006, pp. 117–127).

Para estudiar experimentalmente la interacción luz – materia, se realizó el diseño de un montaje como se puede apreciar en el Esquema 1, caracterizando las fuentes de emisión de luz, midiendo la Reflectancia y Fluorescencia en tejidos biológicos. (Solarte, E., et al. 2006, pp. 29- 37).

Generador de funciones



Esquema 1. Montaje experimental para caracterización óptica en tejidos biológicos

Se ensambló el montaje experimental con fuentes de luz tales como: LASER de 405nm (azul), 532nm (verde) y 650nm (rojo), y un conjunto de LEDs de 380nm, 395nm, 518nm, 590nm y 640nm. (Solarte, E., et al., pp. 5–10).

Además, se incluyó un generador de funciones que envía una señal de onda a la fuente de luz para activarla durante ciertos períodos de tiempo, también un sistema óptico comprendido por una lente acopladora entre la fuente y la fibra o sonda de reflectancia, en dependencia del estudio; lo que permitió guiar el haz de luz, divergir este haz con ayuda de

una lente y que interactuara con la muestra. (Solarte, E., et al., 2010, pp. 1-6)

La respuesta se midió con un fotómetro de celda de Si, que permitió traducir la señal de respuesta óptica en una señal eléctrica, con lo cual, se pudo cuantificar la energía que absorbió el tejido. (Solarte E., et al., 2009, pp. 138-141). Se observó por medio del osciloscopio la señal en Voltios del fotómetro en función del tiempo y se registró el tiempo en que el pulso estuvo prendido y apagado. (Wallace, M.B., et al., 2009, pp. 233–242).

Para comprobar la puesta en marcha del montaje experimental se caracterizaron las fuentes de emisión de luz del sistema y se realizó la caracterización óptica del modelo tejido biológico *Heliconius Sara* (Sedano, RE., Calero, H., 2021, pp. 374-384). Para lo cual, se empleó una sonda de reflectancia que por medio de una fibra óptica bifurcada condujo el haz de luz de la fuente y recogió la reflectancia/fluorescencia de la muestra, la cual fue analizada por un espectrofotómetro.

La aplicación está en fase preliminar de un trabajo de investigación titulado “Caracterización óptica de poblaciones Insulares y Continentales del Lepidóptero diurno *Heliconius Sara* para examinar el potencia de fraccionamiento evolutivo”, que comprende la unión de dos grupos de investigación: Grupo de Eco-fisiología, Biogeografía y Evolución, y de Óptica Cuántica de la Universidad del Valle, con el objetivo de comprobar la naturaleza del color y el potencial de fraccionamiento evolutivo de alas de poblaciones de *H. Sara* a partir de espectroscopía óptica bajo la dirección de los profesores: Raúl Sedano y Efraín Solarte y la participación de dos estudiantes de pregrado Isabella Aguilera y Laura Gil. *Por lo cual, se reservan los derechos de autor.* (Sedano, R., et al., 2023).

El objetivo directo, por el cual se llevó a cabo el diseño, ensamblaje y puesta en marcha de un montaje experimental que permitiera la caracterización espectroscópica sobre tejido biológico, es la aplicación directa para lo cual fue diseñado el montaje experimental; con el cual se llevará a cabo la irradiación óptica sobre cultivos celulares. (*La aplicación del montaje experimental hace parte del proyecto doctoral “Efectos de la irradiación óptica con fuentes de luz láser y led en cultivos celulares de leucemia”*), por lo cual, se reservan los derechos de autor. (Ochoa, D.V, et al., 2023).

RESULTADOS

Para caracterizar el montaje experimental; se midieron los espectros de emisión de las fuentes de luz LED y LASER, como se puede apreciar en las figuras 1 y 2.

En la figura 1 se aprecia el espectro de longitudes de onda de los LED: luz blanca representado por una curva de color negro que abarca el espectro visible, longitud de onda a 380nm para el color violeta, 395nm que corresponde al morado, 405nm a la curva azul, 518nm al verde, 590nm al amarillo y 640nm al LED rojo; con un ancho de banda representativa de los mismos.

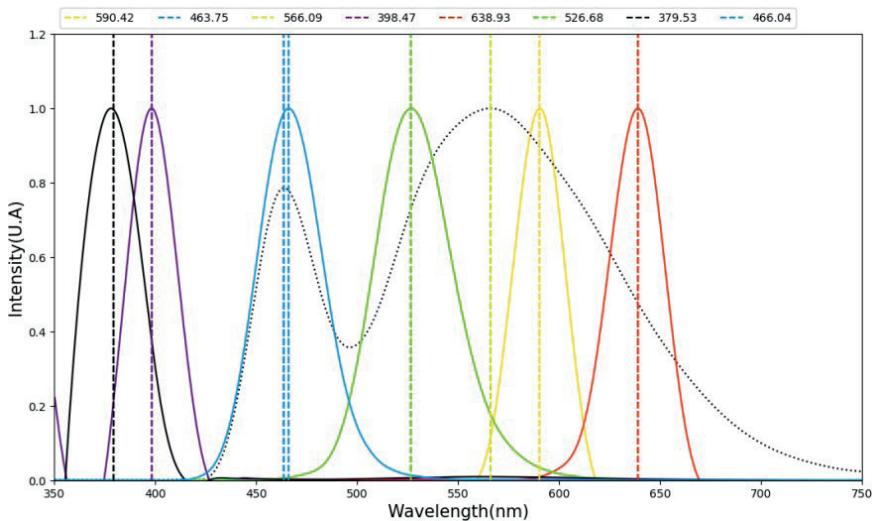


Figura 1. Espectros de emisión de LED a diferentes longitudes de onda.

Así mismo, en la figura 2 se presentan los espectros de emisión característicos de láseres a 405nm el azul, 532nm para el verde y 650nm el LÁSER rojo.

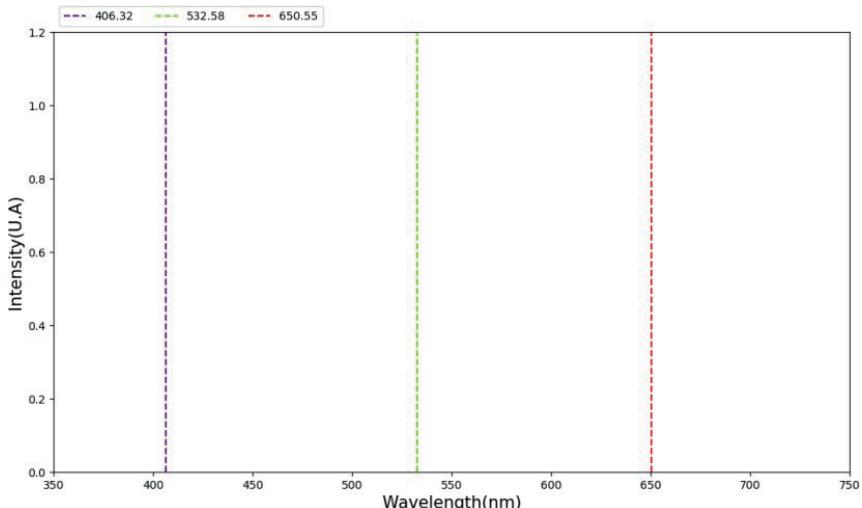


Figura 2. Espectro de emisión de luz LÁSER a diferentes longitudes de onda.

Con lo anterior, se evidenció que el montaje experimental permitió realizar la medición de los espectros de emisión de las diferentes fuentes de luz LED y LÁSER empleadas.

Por otro lado, para comprobar la puesta en marcha del montaje experimental construido para medición en tejido biológico, se realizó la caracterización óptica sobre el modelo biológico Alas de mariposa de la especie *Heliconius Sara*.

En la figura 3 resultante de reflectancia en el rango UV - NIR, permite observar las bandas de absorción de las alas de la especie *Heliconius Sara*.

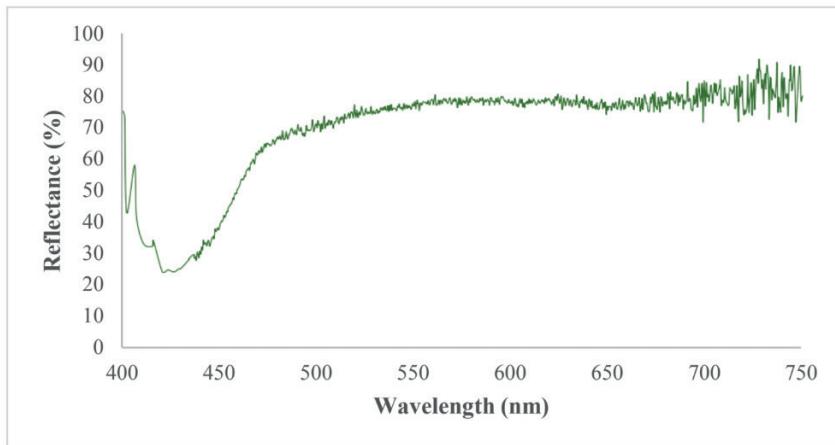


Figura 3. Espectro de reflectancia con fuente de luz halógena sobre modelo biológico alas de mariposa de la especie *Heliconius Sara*.

En la figura 4 se aprecia el espectro de absorción entre 400-500nm y emisión entre 600- 700nm.

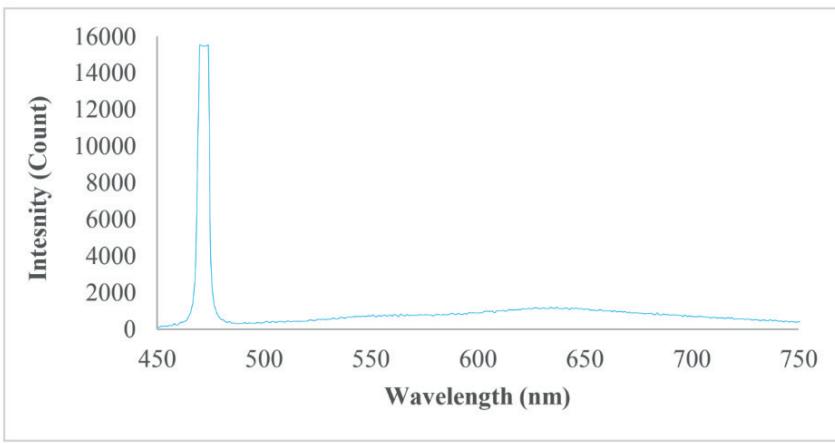


Figura 4. Espectro de Fluorescencia con fuente de luz LÁSER sobre modelo biológico Alas de mariposa de la especie *Heliconius Sara*

DISCUSIÓN

Una vez se caracterizó espectroscópicamente el montaje experimental a partir de la medición de los espectros de reflectancia de las fuentes de luz halógena, la LED (figura 1) y

el LÁSER (figura 2), fue posible realizar mediciones espectroscópicas sobre tejido biológico (Teixeira, A. F., et al., 2018, 250–255).

Como aplicación directa de la construcción del montaje experimental se realizaron mediciones con fuentes de luz visible continua, LED y LÁSER en tejidos biológicos para la medición de espectros de reflectancia (figura 3) y, bajo cierta modificación del montaje experimental, medir espectros de fluorescencia (figura 4) en el modelo biológico - alas de especímenes de *Heliconius Sara* - (Wilts et al., 2017, pp. 1-12), (Sedano, R., Calero, H., 2021, pp. 374-384).

En la figura 3 se observa el espectro de reflectancia con fuente de luz halógena sobre el ala de mariposa de la especie *Heliconius Sara*, como biomodelo. A partir de los máximos de reflectancia del espectro se elige la longitud de onda que más absorbe el modelo biológico y se mide el espectro de fluorescencia empleando el láser azul (figura 4).

En la figura 4 se observa la absorbancia del biomodelo entre 400-500nm y a mayor longitud de onda, la emisión de la radiación entre 600nm-700nm. En concordancia, se observa la absorbancia en el violeta azul y la emisión de la radiación en el rango de longitud de onda del naranja-rojo. Lo que evidencia el fenómeno de fluorescencia sobre el modelo biológico.

Los tejidos biológicos con base a su complejidad molecular, química y física, tienen respuesta espectroscópica específica en función a la longitud de onda con la que interactúen. Teniendo esta información espectroscópica a detalle, se podrían precisar aplicaciones clínicas.

Finalmente, con el montaje experimental diseñado y ensamblado, fue posible caracterizar espectroscópicamente con base en medidas de reflectancia y fluorescencia, alas de mariposa como tejido biológico modelo como evidencia de la funcionalidad del montaje experimental para la caracterización óptica en tejidos biológicos.

CONCLUSIONES

Se diseñó, ensambló, caracterizó y puso en marcha el montaje experimental que permitió realizar mediciones espectroscópicas sobre tejido biológico.

Se midieron los espectros de emisión de las fuentes empleadas halógena, LED y LASER, coincidiendo con los esperados de acuerdo con sus propiedades ópticas.

Se obtuvo el espectro resultante de reflectancia en el rango UV-NIR del modelo biológico, lo que permitió observar las bandas de absorción y a partir de cuyos máximos se encontró que el tejido bajo ciertos parámetros ópticos, tiene características de fluorescencia.

Se comprobó la funcionalidad del montaje experimental realizando mediciones de reflectancia y fluorescencia sobre el modelo biológico - alas del lepidóptero diurno de la especie *Heliconius sara* - con fuente de luz halógena y LASER.

Como perspectivas, se realizarán las respectivas pruebas ópticas para determinar

el efecto de la incidencia de la irradiación óptica sobre cultivos celulares para una posible aplicación clínica.

AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Investigación de Óptica Cuántica de la Universidad del Valle, al director del grupo Dr. Efraín Solarte y a la estudiante Isabella López con quien hicimos equipo para medir sobre el modelo biológico.

Al Dr. Raul Sedano director del Grupo de Investigación Ecología Animal y Grupo Ecofisiología, Biogeografía y Evolución de la Universidad del Valle, por facilitarnos las alas de mariposa de la especie *Heliconius Sara*.

Al Grupo de Investigación de Farmacología de la Universidad del Valle, al director de grupo Dr. Oscar Gutiérrez y al profesional bacteriólogo Jaime Muñoz, en el cual, se determinó el efecto de la incidencia de la irradiación óptica sobre el tejido biológico.

REFERENCIAS

Banavath, H. N., et.al. (2018). Femtosecond laser pulse assisted photoporation for drug delivery in Chronic myelogenous leukemia cells. Journal of Photochemistry and Photobiology, B: Biology 187. 35-40. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.07.031>

Hopkins, S. L., et.al. (2016). An in vitro cell irradiation protocol for testing photopharmaceuticals and the effect of blue, green, and red light on human cancer cell lines. Photochem. Photobiol. Sci. 15, 644-653. doi: [10.1039/c5pp00424a](https://doi.org/10.1039/c5pp00424a)

Gastrointest Endosc Clin N Am. 2009 April; 19(2): 233–242. doi: [10.1016/j.giec.2009.02.008](https://doi.org/10.1016/j.giec.2009.02.008).

Dominguez, A., Castro, P., & Morales, M. (2009). An In Vitro Study of the Reaction of Osteoblasts to Low-level Laser Irradiation. J Oral Laser Applications, 9, 21–28.

Gheewala, T., Skwor, T., & Munirathinam, G. (2018). Photodynamic therapy using pheophorbide and 670 nm LEDs exhibits anti-cancer effects in-vitro in androgen dependent prostate cancer. Photodiagnosis and Photodynamic Therapy, 21. 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2017.10.026>

Abebe T. (2010). Modelling of scattering and absorption by phantom tissue. 8-9. [Master's thesis, Addis Ababa University].

Pérez, A., et.al. (2006). Espectroscopía de fluorescencia inducida por láser en células, in Memoria de El Colegio Nacional. pp. 487–508.

Darío, H., Criollo, W., Solarte, E., Cuántica, G. D. Ó., Física, D. De, Farmacología, G. De, & Ciencias, E. De. (2008). Efectos de la Radiación de Baja Potencia Sobre el Crecimiento Celular en Cultivos de Meningioma. [Tesis pregrado en física. Universidad del Valle].

Glicksman, M. A. (2018). Induced Pluripotent Stem Cells: The Most Versatile Source for Stem Cell Therapy. Clinical Therapeutics, 40(7), 1060–1065. <https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2018.06.004>

Hussain, A., Eduardo, J., & Brown, D. (2010). Total body irradiation. In Quality and Safety in Radiotherapy (Fourth Edi, pp. 373–379). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1201/b10448>

Ochoa, D. V. (2018). Efecto de las reacciones químicas, en fase gaseosa, sobre la producción de monóxido de carbono, durante la combustión in situ. Cali, Colombia. [Tesis de maestría en ingeniería química, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/68705>

Neira, R., Toledo, L., Arroyave, J., Solarte, E., Isaza, C., Gutierrez, O., ... Ortiz-Neira, C.

L. (2006). Lowlevel laser-assisted liposuction: The Neira 4 L technique. *Clinics in Plastic Surgery*, 33(1), 117–127. <https://doi.org/10.1016/j.cps.2005.09.005>

Solarte, E., et al. (2006). Laser Light Propagation in Adipose Tissue and Laser Effects on Adipose Cell Membranes. SPIE Vol. 6026, pp. 29-37. ISBN 0819460575.

Solarte, E., Gutierrez, O., Neira, R., Arroyave, J., Isaza, C., Ramirez, H., ... Ortiz, C. (2004). Laser induced lipolysis on adipose cells. Proceedings of SPIE, (October), 5–10. <https://doi.org/10.1117/12.589307>

Solarte, E., Urrea, H., Criollo, W., & Gutierrez, O. (2010). LED illumination effects on proliferation and survival of meningioma cellular cultures. Dynamics and Fluctuations in Biomedical Photonics VII, Vol. (7563, 756309), 1-6. <https://doi.org/10.1117/12.843060>

Solarte, E., Valdés, C. P., Banguero, Y. (2009). Estudio Experimental y Reconstrucción de la Propagación de un Haz Laser en un Modelo de Tejido Blando. Revista Colombiana de Física, ISSN 0120-2650. Ed. Sociedad Colombiana de Física. Vol. 41, No. 1, pp. 138-141.

Teixeira, A. F., Alves, J. R., de Souza da Fonseca, A., & Mencalha, A. L. (2018). Low power blue LED exposure increases effects of doxorubicin on MDA-MB-231 breast cancer cells. Photodiagnosis and Photodynamic Therapy, 24(May), 250–255. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2018.07.016>

Wilts et al. (2017). BMC Evolutionary Biology. 17:226, pp. 1-12. doi 10.1186/s12862- 017-1073-1

Valdés, C. P., & Solarte, E. (2010). Estudio experimental de la propagación de luz láser en medios con alto espaciamiento. Cali, Colombia. [Tesis de maestría en ciencias física, Universidad del Valle].

Sedano, R., Aguilera, I., Ochoa, D.V., Gil, L., Solarte, E. (2023). Caracterización óptica empleando fuentes de láser o LED, de poblaciones insulares y continentales del Lepidóptero diurno *Heliconius Sara* para examinar el potencial de fraccionamiento evolutivo. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Sedano, R., Calero, H. (2021). Genetic characterization of the *Heliconius Sara* (Nymphalidae) population in the Gorgona Island, Colombia. Acta Biológica Colombiana, 26(3), pp. 374-384. <https://doi.org/10.15446/abc.v26n3.86205>

Ochoa, D.V., Gutiérrez, J.O., Solarte, E. (2023). Efectos de la irradiación óptica con fuentes de luz láser y led en cultivos celulares de leucemia. Cali, Colombia. [Tesis para optar a grado de Doctora en Ciencias Biomédicas, Universidad del Valle]

CAPÍTULO 10

DESARROLLO DE COPOLÍMEROS DE TETRAZOL - SÍNTESIS Y APLICACIÓN EN ELECTROLITOS

Data de aceite: 02/08/2023

Luciano da Silva

Centro de Investigación en Química
Aplicada, Blvd
Saltillo, Coah, Mexico

Eduardo Ramírez Vargas

Centro de Investigación en Química
Aplicada, Blvd
Saltillo, Coah, Mexico

Roberto Benavides

Centro de Investigación en Química
Aplicada, Blvd
Saltillo, Coah, Mexico

Diana Morales-Acosta

Centro de Investigación en Química
Aplicada, Blvd
Saltillo, Coah, Mexico

Juan Guillermo Martínez-Colunga

Centro de Investigación en Química
Aplicada, Blvd
Saltillo, Coah, Mexico

Karla Fabiola Rodríguez Ramírez

Centro de Investigación en Química
Aplicada, Blvd
Saltillo, Coah, Mexico

Orlando Castro Reyna

Centro de Investigación en Química
Aplicada, Blvd

Saltillo, Coah, Mexico

Rachel Faverzani Magnago

Programa de Pós-Graduação em Ciencias
Ambientais, Universidade do Sul de Santa
Catarina
Palhoça, Santa Catarina, Brasil

Adriano da Silva

Universidade Federal de Santa Catarina,
Trindade, Florianópolis, Santa Catarina,
Brasil

Saúl Sanchez-Valdes

Centro de Investigación en Química
Aplicada, Blvd
Saltillo, Coah, Mexico.

RESUMEN: Se reporta el método de síntesis y caracterización de un copolímero de estireno-vinil tetrazol (StVTz) en diferentes relaciones molares (50:50, 60:40, 70:30, 80:20 y 90:10). Los nuevos copolímeros se prepararon a partir de un copolímero de estireno-co-acrilonitrilo sintetizado previamente, seguido de una reacción de cicloadición 1,3-dipolar de Huisgen para obtener los copolímeros de estireno-tetrazol. Los copolímeros se caracterizaron mediante espectroscopía infrarroja transformada

de Fourier (FT-IR), análisis de espectroscopía de resonancia magnética nuclear ^1H (RMN ^1H) y peso molecular. Las membranas se prepararon adicionalmente mediante el método de fundición y la morfología se reveló mediante microscopía de fuerza atómica (AFM). Las propiedades térmicas se evaluaron por calorimetría diferencial de barrido (DSC) y por análisis termogravimétrico (TGA), y las propiedades iónicas por medio del valor de la capacidad de intercambio iónico (IEC) obtenido de medidas de titulación y por consumo de agua (WU). El contenido de agua (WC) presente también fue determinado por TGA. El comportamiento electroquímico fue seguido por espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS). El análisis morfológico por microscopía de fuerza atómica demuestra la presencia de una sola fase con rugosidad proporcional a la hidratación. No se observó relación entre WU, IEC y WC con la composición del copolímero; sin embargo, se encontró una correlación entre la conductividad iónica y el porcentaje de agua ligada en la membrana. Los resultados de conductividad iónica para copolímeros contemplan una potencial aplicación de esta clase de compuestos como membranas en celdas de combustible.

1 | INTRODUCCIÓN

Las pilas de combustible son dispositivos electroquímicos que convierten la energía química de un combustible directamente en energía eléctrica. Estos sistemas tienen una mayor eficiencia eléctrica ($> 60\%$) en comparación con otros sistemas de generación de energía convencionales, como generador de turbina (30-40 %), motor alternativo (~35 %), fotovoltaica (6-20 %) y turbinas eólicas (25 %) [1]. Además de una excelente eficiencia de conversión de energía, estos dispositivos tienen ventajas como flexibilidad de combustible, funcionamiento sin ruido y construcción modular [2]. Esta versatilidad de características permite la aplicación desde dispositivos electrónicos portátiles residenciales, incluso en procesos de generación de electricidad fuera de la red en áreas remotas, navales y espaciales.

El tipo de electrolito utilizado en la Pila de Combustible permite clasificar los diferentes tipos de sistemas. Entre todos los tipos de celdas de combustible demostrados hasta el momento, se encuentran las celdas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEMFC), sistemas que utilizan membranas poliméricas como electrolitos, consideradas las mejores candidatas para la próxima generación de vehículos eléctricos [3-10].

Se han utilizado diferentes tipos de polímeros para preparar electrolitos sólidos para pilas de combustible. Los ejemplos de electrolitos incluyen polímeros sulfonados, dopados e incluso compuestos. Estos materiales tienen la característica de tener grupos ácidos orgánicos o inorgánicos, responsables de la conductividad iónica en el material [11]. Se han evaluado muchos sistemas heterocíclicos [12], sin embargo, se sabe muy poco sobre el sistema tetrazol. Los tetrazoles se utilizan a menudo como sustitutos isostéricos resistentes al metabolismo de los ácidos carboxílicos en la síntesis de análogos de química médica impulsada por la relación estructura-actividad (SAR) [13]. El gran interés en los

derivados del tetrazol se debe a las características electrónicas de los átomos de nitrógeno que les confieren actividad biológica, alta termoestabilidad [14-17] y buena solubilidad en diversos solventes [18]. Sus aplicaciones van desde material biocompatible [19], derivados organometálicos [20], grupo de anclaje para colorante y coadsorbente para celdas solares sensibilizadas por colorante (DSSC) [21], membrana para adsorción de metales pesados [22], hasta polielectrolitos [23].

Las actividades de investigación en los electrolitos de polímeros conductores de protones sólidos pueden aumentar drásticamente debido a una posible aplicación del grupo tetrazol en PEMFC. Las membranas de copolímero sulfonado hidratado, como Nafion®, tienen éxito en la aplicación de celdas de combustible [24]; sin embargo, estas membranas tienen algunas debilidades que incluyen problemas de gestión del agua, alto costo del material y alto cruce de metanol, que han ralentizado las aplicaciones industriales generalizadas [25]. Se han producido varios sistemas PEMFC alternativos para superar los inconvenientes de los materiales a base de ácido perfluorosulfónico [26].

La estructura de difusión en los sistemas que contienen el heterociclo de tetrazol consiste en la transferencia intermolecular de protones y la reorganización estructural, mediante un proceso de formación y ruptura de enlaces de hidrógeno, como se ha mencionado [27]. Estos resultados demuestran que el heterociclo se comporta como un conductor protónico de estado sólido sin necesidad de medios líquidos. En este sentido, el sistema de heterociclo como los tetrazoles, por ejemplo, sería el mejor grupo para la transferencia de protones, porque los tetrazoles tienen cuatro átomos de nitrógeno y tautómeros similares también. Posiblemente, pueden proporcionar un mecanismo superior que conduce a una mayor conductividad de protones para los PEM. Recientemente, se han informado diseños de PEM de tetrazol [28-30].

Los polímeros de cadena lateral de N-heterociclo, como el poli(5-vinil tetrazol) y sus copolímeros [31], son un tipo de nuevos materiales conductores de protones anhidros. La columna vertebral del polímero es el componente alifático, que mejora la solubilidad y las propiedades de preparación del copolímero.

2 | EXPERIMENTAL

2.1 Información general

Los solventes y productos químicos usados se compraron de Sigma-Aldrich, Fisher Scientific o TCI-America y se usaron tal como se recibieron. El estireno (St, 99 %, Aldrich) se purificó lavando minuciosamente con NaOH acuoso al 20 % y con agua destilada para eliminar los inhibidores; también se secó durante varias horas con CaCl₂ y se destiló a temperatura mínima aplicando presión reducida en atmósfera de nitrógeno [32]. El acrilonitrilo (AN, >99 %) se destiló a presión normal y el efluente a 77–78 °C se recogió y

almacenó en un refrigerador con sulfato de magnesio. El iniciador de peróxido de benzoilo (BPO) se disolvió en diclorometano (CH_2Cl_2) a temperatura ambiente y luego se precipitó agregando un volumen igual de metanol (MeOH) [32]. Los cristales formados se filtraron y secaron a temperatura ambiente al vacío durante 24 h. BPO, St y AN se almacenaron en condiciones de oscuridad a aproximadamente 4 oC antes de su uso. La azida de sodio (NaN_3 , >97 %) y el cloruro de amonio (NH_4Cl , >99,5 %) se adquirieron de Sigma-Aldrich.

Los espectros infrarrojos de transformada de Fourier de reflectancia total atenuada (ATR/FT-IR) se registraron en un espectrofotómetro Thermo Nicolet, Nexus 470 FT-IR con software Omnic 7.2. El compuesto investigado se colocó en su forma de polvo o película sobre un cristal de germanio y se colocó una sonda de presión en una posición para aplicar radiación infrarroja. Los espectros de RMN ^1H se registraron usando un espectrómetro Bruker Avance 3, que opera en frecuencias de 400 MHz. El peso molecular de los copolímeros se midió en un cromatógrafo de permeación en gel (GPC) ALLIANCE 2695 Waters equipado con un detector de índice de refracción Waters 2414. Se utilizó tetrahidrofurano (THF) grado HPLC como fase móvil a 30 °C, que se bombeó a 1,0 mL/min mediante dos columnas C mixtas lineales. El GPC se calibró utilizando 10 estándares de poliestireno con pesos moleculares que oscilaban entre 580 y $2,6 \times 10^6$ g/mol, y el tiempo de análisis fue de 28 min. Las muestras consistieron en la solución de polímero a una concentración de 1 mg/mL, filtrada a través de un filtro de PTFE (tamaño de poro 0,45 mm).

Las mediciones de calorimetría diferencial de barrido (DSC) se realizaron en un analizador térmico TA Instruments 2920, en el rango de temperatura de 30 a 250 °C y una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, en atmósfera de N₂ y utilizando aproximadamente 10 mg de muestra. Todas las muestras fueron sometidas a un ciclo de calentamiento-enfriamiento-calentamiento (30 – 250 °C) para evaluar la temperatura de transición vítrea (T_g). Los análisis termogravimétricos se realizaron en un instrumento Linseis STA PT 1000, desde temperatura ambiente hasta 700 °C, con una rampa de calentamiento de 10 °C /min en atmósfera de nitrógeno; a partir de termogramas, los valores de contenido de agua (WC) se calcularon considerando el paso de pérdida de masa de agua.

También se calculó la capacidad de retención de agua (WU) para cada membrana. Muestras secas de membranas con dimensiones de 2 x 2 cm se pesaron en una balanza analítica y luego se sumergieron durante 24 h en agua destilada. Se limpiaron con papel absorbente y se volvieron a pesar. El porcentaje de retención de agua (WU) se evaluó comparando los pesos antes y después de la inmersión en agua multiplicados por cien. También se evaluó la capacidad de intercambio iónico (IEC) de las membranas de la siguiente manera: las membranas se sumergieron en una solución de HCl 1 M durante 24 h, para la protonación completa y luego se enjuagaron con agua destilada para eliminar el exceso de ácido. El monitoreo se realizó tituló con una solución de NaOH 0,01 M utilizando un indicador de cambio de color. El IEC se calculó a través de la ecuación 1 (Ec. 1) [33]:

$$IEC = (V \times M) / W \text{ (Eq.1)}$$

Donde V representa el volumen de la solución de titulación utilizada hasta el equilibrio, M es la concentración de la solución utilizada en la titulación y W es el peso de la muestra de polímero seca. Los valores de IEC obtenidos también se utilizaron para calcular la concentración de carga fija (C^m_A) dividiéndolos por la absorción de agua (IEC/WU) [34,35].

2.2 Síntesis

2.2.1 Síntesis de StAN – Procedimiento general

Los copolímeros de poli(estireno-co-acrilonitrilo) (StAN) se sintetizaron con diferentes relaciones molares: StAN-1 (50-50 % mol), StAN-2 (60-40 % mol), StAN-3 (70-30 % mol), StAN-4 (80-20 % mol), StAN-5 (90-10 % mol).

Para la síntesis de StAN-1, se añadieron estireno (10 g, 96,2 mmol) y acrilonitrilo (5,1 g, 96,2 mmol) a un matraz de tres bocas de 250 mL equipado con agitación mecánica, calentando bajo atmósfera de nitrógeno. La mezcla se agitó durante 15 min a temperatura ambiente y luego se añadió BPO (0,021 g, 0,0865 mmol) y la mezcla se calentó a 70 °C durante 4 h. La mezcla de reacción se enfrió a temperatura ambiente, se disolvió en CH_2Cl_2 y se vertió en 100 ml de metanol. La mezcla se filtró, el sólido blanco obtenido se lavó varias veces con agua y finalmente se secó al vacío. Se obtuvo un rendimiento de reacción del 81 %; FT-IR (vmax, cm⁻¹) = 3026 (C-H anillo aromático), 2926 (C-H alifático), 2241 (CN), 1601, 1493, 1452 (C=C anillo aromático), 757, 697 (vibraciones de flexión C-H alifático y C-H aromático).

2.2.2 Síntesis de StVTz – Procedimiento general

Los copolímeros de poli(estireno-co-vinil tetrazol) (StVTz) se prepararon a partir de sus correspondientes copolímeros de StAN, es decir, StVTz-1 se preparó a partir de copolímeros de StAN-1 y así sucesivamente.

Para la síntesis de StVTz-1, se añadió azida de sodio (2,2 g, 34 mmol) y cloruro de amonio (1,9 g, 34 milimoles). La mezcla se agitó durante 24 h, manteniendo la temperatura a 120 °C. La mezcla de reacción se enfrió a temperatura ambiente y luego se vertió en 150 ml de agua helada. La mezcla se acidificó con solución de HCl a pH 2, el precipitado formado se filtró, se lavó con agua y se eliminó. El producto obtenido se recristalizó en etanol dando un sólido blanco. Rendimiento 92%.

FT-IR (vmax, cm⁻¹) = 3026 (C-H anillo aromático), 2922 (C-H alifático), 3600-2500 (br) 1651 (C=N, anillo tetrazol), 1601, 1493, 1452 (C=C aromático anillo), 758, 699 (vibraciones de flexión C-H alifáticas y C-H aromáticas). RMN 1H (400 MHz, DMSO-d6) δ = 7,12 (m, 2H, C6H5), 6,75 (m, 3H, C6H4), 2,7 – 1,0 (m, 6H, cadena alifática).

2.3 Preparación de membranas poliméricas

Los diferentes copolímeros (StAN y StVTz) se utilizaron para preparar membranas. Para cada membrana, se disolvió el copolímero correspondiente en DMF para dar soluciones al 5% en peso. Las soluciones se moldearon sobre placas de vidrio y se secaron inicialmente a 50 °C durante 24 h y luego a 80 °C en vacío durante 24 h.

2.3 Análisis morfológico

Las características morfológicas de la superficie de las muestras se observaron por microscopía de fuerza atómica (AFM) en un instrumento DimensionTM 3100 de Digital Instruments con punta de Si recubierta de Pt con radio nominal de 15 nm modelo: OSCM-PT Bruker, las imágenes se obtuvieron en el modo tapping a una tasa de exploración de 1,0 Hz para 256 líneas.

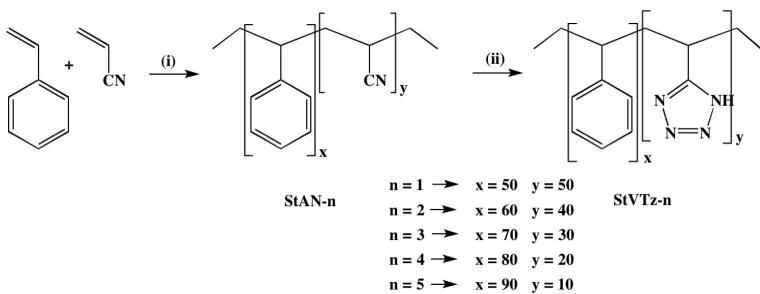
2.4 Espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS)

Los espectros de impedancia electroquímica se midieron con un potenciómetro analizador de impedancia (Bio-Logic SP-300). Los espectros EIS se registraron en un rango de frecuencia de 100 mHz - 200 kHz a temperatura ambiente y los espectros de impedancia eléctrica se ajustaron usando el software Z-Fit (Bio-Logic).

3 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Confirmación de estructura

La síntesis de los diferentes copolímeros de estireno-vinil tetrazol (StVTz-n) se describe en el Esquema 1. En un primer paso, se sintetizó el copolímero estireno-acrilonitrilo (StAN-n) mediante polimerización radical en cinco composiciones diferentes, StAN-1 (50:50); StAN-2 (60:40); StAN-3 (70:30); StAN-4 (80:20) y StAN-5 (90:10), respectivamente.



Esquema 1. Ruta de síntesis del copolímero estireno-vinil tetrazol. (i) = BPO, 80 °C, 4 h; (ii) = NaN_3 , NH_4Cl , DMF, 120 °C, 24 h.

El espectro infrarrojo de StAN-1 contiene una banda para el grupo C-H en 3085, 3064 y 3028 cm⁻¹ (sistema aromático), 2926 y 2858 cm⁻¹ (sistema alifático). La frecuencia del grupo nitrilo se observa en 2241 cm⁻¹. Estos resultados demuestran la formación del copolímero. Otro dato relevante es que la intensidad de la banda correspondiente al grupo CN es proporcional a la composición del copolímero, demostrando diferencias entre distintas composiciones St/AN.

Los copolímeros StAN se convirtieron en StVTz mediante una cicloadición dipolar 1,3 de Huisgen con azida de sodio. Todos los compuestos fueron completamente caracterizados por ¹H NMR y espectroscopía IR (FT-IR). La presencia del anillo tetrazol se caracteriza por la desaparición de la banda característica del grupo nitrilo (en 2241 cm⁻¹), el ensanchamiento de las señales en la región entre 2600-3500 cm⁻¹ y la aparición de la banda del enlace C = N en 1657 cm⁻¹. Para las condiciones de reacción utilizadas en este trabajo, se observa que para los copolímeros StVTz-1 y StVTz-2, la deformación axial del grupo nitrilo (a 2241 cm⁻¹) aún estaba presente, lo que demuestra que no hubo una conversión completa del grupo nitrilo. grupo nitrilo en tetrazol.

El espectro de RMN ¹H del copolímero StVTz-1 se observa un multiplete entre 1,0 y 2,7 ppm, referido a los átomos de hidrógeno de la cadena alifática. El sistema aromático aparece como multiplete entre 6,75 y 7,12 ppm. El espectro de RMN de ¹H del copolímero StVTz-1 contiene picos bastante pequeños entre 7,4 y 7,6 ppm, que persistieron esencialmente sin cambios después de que el polímero se sometió a una purificación adicional. Estos picos se atribuyen a los fragmentos de iniciador derivados de BPO [34]. La proporción de monómero de acrilonitrilo en los copolímeros de StAN también se estimó a partir de ¹H NMR. Para ello, se compara el número de átomos de hidrógeno en la parte alifática (CH₂CH) con el número de átomos de hidrógeno en la parte aromática (C₆H₅) [35]. Las composiciones estimadas se muestran en la Tabla 2S.

El peso molecular medio numérico (Mn, Mw y Mp) y la dispersidad (Mw/Mn) de los copolímeros StVTz y StAN obtenidos se caracterizaron por GPC en THF. Según el análisis GPC, los copolímeros tenían masas moleculares medias en peso que oscilaban entre 28,6 y 56,8 kD (Tabla 1).

Copolímero	Mn (Daltons)	Mw (Daltons)	Mp (Daltons)	Mw/Mn
StVTz-1	8,910	28,559	10,820	3.205
StVTz-2	9,988	45,345	18,583	4.543
StVTz-3	11,834	45,193	31,936	3.818
StVTz-4	12,798	33,634	16,084	2.628
StVTz-5	15,174	56,784	30,308	3.742

Tabla 1. Resultados de Mn, Mw, Mp y dispersidad obtenidos para los copolímeros StVTz.

3.2 Comportamiento térmico

La membrana polimérica para aplicaciones de PEMFC debe tener estabilidad térmica y oxidativa desde un punto de vista práctico. Para determinar la estabilidad térmica, todas las muestras se secaron en una estufa de vacío a 80 °C durante 24 h antes de su uso. El análisis termogravimétrico (TGA) se logró a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min en atmósfera de nitrógeno. En general, para los copolímeros de StAN, todas las composiciones fueron térmicamente estables hasta 270 °C con temperaturas de descomposición iniciales entre 270,5 y 270,7 °C. Los cambios en la composición de los comonomeros no producen un cambio significativo en la estabilidad térmica de esta serie. Para los copolímeros de StVTz (Fig. 1), se observaron cambios importantes en la estabilidad térmica. Esto último podría ser consecuencia de la conversión parcial de grupos nitrilo en tetrazol para algunos copolímeros.

la Tabla 2.

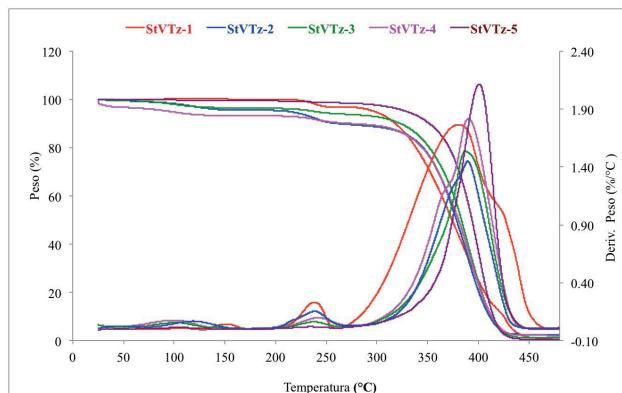


Fig. 1. Curvas TGA y DTG de los copolímeros StVTz-1, StVTz-2, StVTz-3, StVTz-4 y StVTz-5.

Copolímero	T _{inicial} (°C)	T _{max} (°C)	Perda de peso (%)	Composición (%)
StVTz-1	187.4	238.5	19.17	33.20
StVTz-2	187.3	238.6	9.04	15.66
StVTz-3	192.6	237.2	5.01	8.68
StVTz-4	188.5	241.78	5.35	9.30
StVTz-5	200.4	227.8	2.49	4.31

Tabla 2. Temperaturas de descomposición del anillo de tetrazol, porcentaje de pérdida de peso y composiciones, de los copolímeros StVTz-1, StVTz-2, StVTz-3, StVTz-4 y StVTz-5.

Los análisis DSC se realizaron para evaluar el efecto de la composición sobre la movilidad molecular de la cadena polimérica. Esto normalmente se refleja en la temperatura de transición vítrea (Tg) de los materiales. Para todos los copolímeros sintetizados, las Tg

se ha evaluado como el valor correspondiente en el punto de inflexión entre los perfiles de temperatura de inicio y final. Para los copolímeros StAN-1, StAN-2, StAN-3, StAN-4 y StAN-5, los valores de Tg son 106,3, 105,4, 102,6, 101,6 y 100,3 °C, respectivamente. Se observa que al aumentar la concentración de acrilonitrilo aumenta el valor de Tg en el copolímero. Por otro lado, para los copolímeros StVTz-1, StVTz-2, StVTz-3, StVTz-4 y StVTz-5 los valores de Tg son 149,8, 128,3, 117,2, 109,6, 103,8 °C, respectivamente. Existe una aparente relación entre los valores obtenidos para Tg en la serie StVTz; si consideramos el porcentaje de conversión de nitrilos a tetrazol, obtenido por TGA, donde la cantidad de tetrazol en el copolímero sigue el orden StVTz-1 > StVTz-2 > StVTz-3 > StVTz-4 > StVTz-5 (Cuadro 3) , es posible ver que con el aumento en la cantidad de anillo de tetrazol en el copolímero, también hay una mejora en el valor de Tg. Por lo tanto, aumentar la cantidad de grupos tetrazoles también aumenta la disponibilidad de grupos N-H para la formación de enlaces de hidrógeno intermoleculares e intramoleculares, lo que restringe la movilidad de las cadenas poliméricas, lo que refleja un aumento en la Tg.

Copolímero	% Tetrazol	Tg (°C)
StVTz-1	33.20	149.8
StVTz-2	15.66	128.3
StVTz-3	9.30	117.2
StVTz-4	8.68	109.6
StVTz-5	4.31	103.8

Tabla 3. Temperaturas de transición vítrea de copolímeros con funciones tetrazol.

Cabe destacar que en las curvas TGA (Fig. 1), también se observa que la primera etapa de pérdida de masa, asociada con la pérdida de agua, ocurre a diferentes temperaturas. Por ejemplo, para el copolímero StVTz-1, la pérdida de agua comienza a temperaturas superiores a 130 °C, mientras que para StTz-4, la pérdida de agua comienza a temperaturas inferiores a 100 °C y eso está relacionado con la interacción del agua con la estructura del copolímero. Para caracterizar la cantidad de agua en una membrana, se pueden determinar dos parámetros: el contenido de agua (WC) y la absorción de agua (WU). Estos parámetros pueden medirse por TGA y gravimétricamente, respectivamente, y su diferencia depende de si se considera inicialmente la muestra seca o húmeda. Entonces, WU y WC se pueden calcular de la siguiente manera (Eq. 2 y Eq. 3):

$$WU (\%) = (W_{\text{humedo}}/W_{\text{seco}}) \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

$$WC (\%) = (W_{\text{dry}}/W_{\text{wet}}) \times 100 \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde, W_{wet} y W_{dry} corresponden al peso de membrana húmeda y peso de membrana seca, respectivamente.

Los valores de WC se calcularon a partir de los termogramas TGA (Fig. 1),

considerando cambios a temperaturas inferiores a 180 °C. En este procedimiento, la muestra hidratada se estabilizó a 40 °C durante 10 min y se calentó a razón de 10 °C/min hasta una temperatura de 200 °C, en atmósfera de nitrógeno. Por otro lado, los valores de WU se calcularon considerando las diferencias de masa entre la muestra seca y la muestra hidratada.

La Tabla 4 muestra los valores obtenidos para los copolímeros, así como sus correspondientes valores de IEC obtenidos por titulación y las concentraciones de carga fija calculadas (C_m^A) obtenidas al dividir los valores de IEC por WU. Se incluye el porcentaje real de tetrazol.

Para la serie de StAN, observamos una gran diferencia entre los valores de WU y WC. Esta diferencia se puede explicar en base a la limitación de la técnica, en la que se supone que la muestra está totalmente hidratada o totalmente seca. Sin embargo, para la serie de StVTz, observamos un incremento en la absorción de agua a lo largo de la cantidad del grupo tetrazol en el copolímero.

El IEC se determinó por medio de titulación asumiendo que todos los protones en la membrana pueden ser intercambiables. Varió de 0,04 mmol g⁻¹ a 0,11 mmol g⁻¹ para las membranas de StAN y de 0,01 mmol g⁻¹ a 0,10 mmol g⁻¹ para las membranas de StVTz. Para estos copolímeros, la IEC demostró ser ineficiente para caracterizar la membrana. Una posible justificación es el hecho de que no considera las propiedades de hinchamiento del polímero [36].

Copolímero	WU (%)	WC (%)	IEC	${}^aC_m^A (x 10^{-3})$	% Tetrazol
StAN-1	12.04 ± 0.93	49.51	0.11	2.22	--
StAN-2	11.46 ± 0.92	38.34	0.12	3.13	--
StAN-3	8.36 ± 0.93	30.96	0.10	3.23	--
StAN-4	7.77 ± 0.96	32.35	0.07	2.16	--
StAN-5	2.88 ± 0.06	24.99	0.04	1.60	--
StVTz-1	22.81 ± 3.15	12.70	0.10	7.87	33.20
StVTz-2	18.12 ± 1.91	11.15	0.06	5.38	15.66
StVTz-3	16.56 ± 1.34	9.69	0.09	9.29	9.30
StVTz-4	15.99 ± 3.93	7.22	0.06	83.10	8.68
StVTz-5	4.54 ± 1.39	2.88	0.01	34.72	4.31

^a Las concentraciones de carga fija (C_m^A) se calcularon a partir de los valores IEC y el contenido de agua de las membranas ($C_m^A = \text{IEC}/\text{Contenido de agua}$) [37]. C_m^A se expresa como moles de grupos de carga fija por L de agua absorbida.

Tabla 4. Consumo de agua (WU), contenido de agua (WC), IEC, valores de C_m^A y presencia real de tetrazol (% de tetrazol) para los copolímeros StAN y StVTz.

Las concentraciones de carga fija (C_m^A) calculadas a partir de los valores IEC y las captaciones de agua no muestran ninguna correlación para las series sintetizadas. Estos

resultados muestran que la cantidad de agua y el mecanismo de interacción del agua con la estructura del polímero deberían ser un factor clave para comprender el comportamiento de estos materiales.

Considerando el proceso de hidratación de la membrana, la presencia de agua podría clasificarse de tres formas según su movilidad [38-40]; a saber, agua ligada, agua libre y agua intermedia. El agua enlazada está estrechamente unida a la superficie y estas interacciones son muy fuertes, mientras que las interacciones agua-agua son más débiles. El agua intermedia interactúa moderadamente con la superficie (más fuerte que el agua libre pero más débil que el agua enlazada) involucrando tanto interacciones agua-superficie como agua-agua. El agua libre apenas interactúa con la superficie y existe principalmente una interacción agua-agua. De acuerdo con sus diferencias con respecto al enlace de hidrógeno intermolecular, incluido el enlace agua/polímero, el enlace agua/agua debilitado y el enlace agua/agua normal, la estructura de la red de polímero hidratado podría representarse como se ve en la Fig. 2 [41].

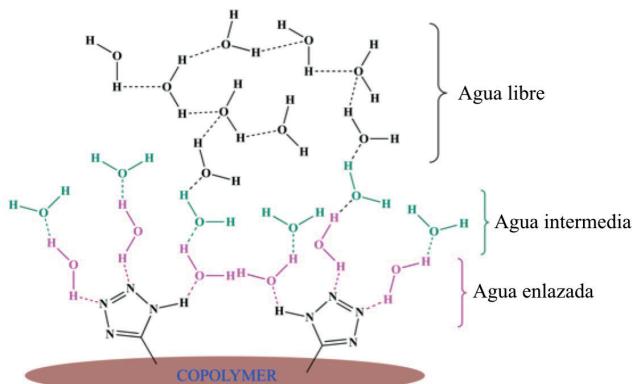


Fig. 2. Representación esquemática del agua en la red de copolímeros.

Cuando una muestra del copolímero hidratado se enfriá muy por debajo de 0 °C, el agua libre y el agua intermedia se congelan, pero el agua unida permanece en estado no congelado. Cuando la muestra congelada se calienta en un calorímetro, el calor requerido para derretir el agua congelada se puede medir mediante DSC (Fig. 6S, Datos complementarios). El agua no congelada, que definimos como agua enlazada, es la diferencia entre el contenido de agua (WC) y el agua congelada (W_{fs}).

El agua congelada (W_{fs}) podría determinarse utilizando la ecuación. 4.

$$W_{fs} (\%) = \frac{\Delta H_{\text{polímero hidratado}}}{\Delta H_{\text{agua}}} \times 100 \quad (\text{Ec. 4})$$

donde: $\Delta H_{\text{agua}} = 333,5(\text{J/g})$ y $\Delta H_{\text{polímero hidratado}}$ es la suma de la entalpía de fusión total en los termogramas DSC para el copolímero hidratado.

El agua enlazada (W_{enlazada}) podría determinarse por la diferencia entre WC y agua

congelada (W_{fs}) utilizando la ecuación. 5.

$$W_{enlazada} (\%) = WC - W_{fs} \text{ (Ec. 5)}$$

La Tabla 5 muestra los resultados de W_{fs} y $W_{enlazada}$ obtenidos para las series de membranas de StAN y StVTz. Se observa que el porcentaje de agua libre cambia con la concentración de tetrazol heterociclo en el copolímero, sin embargo, la cantidad de agua ligada no sigue la misma relación, indicando que no todas las moléculas de agua están interactuando con el heterociclo, sino que también pueden ser interactuando con el grupo cian restante.

Copolymer	^a $\Delta H_{polímero hidratado}$ (J/g)	^b W_{fs} (%)	^c $W_{enlazada}$ (%)
StAN-1	161.8	48.52	0.99
StAN-2	124.1	37.21	1.13
StAN-3	100.4	30.11	0.85
StAN-4	104.3	31.27	1.08
StAN-5	82.18	24.64	0.35
StVTz-1	25.65	7.69	5.01
StVTz-2	3.87	1.16	9.99
StVTz-3	21.71	6.51	3.18
StVTz-4	15.34	4.60	2.62
StVTz-5	8.67	2.60	0.28

^a $\Delta H_{polímero hidratado}$ = El calor requerido para derretir el agua congelada obtenida por calorimetría (Fig. 6S).^b W_{fs} = agua congelada, $W_{fs} = (\Delta H_{polímero hidratado} / \Delta H_{agua}) \times 100$, donde: $\Delta H_{agua} = 333,5 \text{ J/g}$.^c $W_{enlazada} =$ agua enlazada, $W_{enlazada} = (WC - W_{fs})$

Tabla 5. Calor de fusión (ΔH), agua libre (W_{fs}) y agua ligada ($W_{enlazada}$) para las series de membranas StAN's y StVTz's.

3.3 Caracterización morfológica

Se utilizó el Microscopio de Fuerza Atómica (AFM) para la determinación de la morfología, heterogeneidad u homogeneidad de las membranas. Además, también se determinó la rugosidad superficial de las membranas. Algunas imágenes AFM seleccionadas de membranas se presentan en la Fig. 3, y los valores correspondientes de rugosidad superficial para las membranas secas e hidratadas StVTz-1 y StAN-1 se enumeran en la Tabla 6.

Se obtuvieron imágenes ($10 \times 10 \mu\text{m}^2$) con una resolución de 512×512 puntos dentro del rango de frecuencia de exploración de 0,5 a 0,8 Hz y se sometieron a aplanamiento de primer orden. La rugosidad superficial se determinó en función de la rugosidad media (R_q), la rugosidad cuadrática (R_a) y la rugosidad máxima alcanzada (R_{max}). La rugosidad R_q de

la membrana StAN-1 aumentó de 161 nm a 461 nm, una vez hidratada la membrana seca, mientras que para StVTz-1 la rugosidad Rq aumentó de 105 nm a 305 nm. Observamos que todos los parámetros de rugosidad aumentan cuando la membrana se hidrata, reforzando la idea de que la hidratación también provoca la formación de islas de hidratación. Además, para todas las muestras de la Fig. 3, las imágenes muestran una formación monofásica y las membranas parecen ser homogéneas a escala nanométrica para ambas condiciones, seca e hidratada. Un punto interesante a comentar sobre la rugosidad es que el valor de R_q aumenta en la misma proporción (~ 290%) para ambos sistemas a pesar de que la forma en que el agua interactúa con el polímero es diferente. Para StAN-1, la cantidad de agua enlazada es solo del 0,99 %, mientras que para los copolímeros StVTz-1, la cantidad de agua enlazada es del 8,48 %.

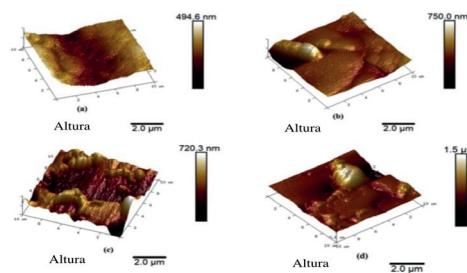


Fig. 3. Imágenes AFM. (a) StAN-1 seco, (b) StAN-1 hidratado, (c) StVTz-1 seco y (d) StVTz-1 hidratado.

Copolímero	Aspera		
	R _q ^a (nm)	R _a ^b (nm)	R _{max} ^c (nm)
StAN-1 seco	161	122	1080
StAN-1 hidratado	461	394	2196
StVTz-1 seco	105	84.9	690
StVTz-2 hidratado	305	255	2214

Tabla 6. Los valores de rugosidad superficial de las membranas secas e hidratadas StVTz-1 y StAN-1.

3.4 Mediciones de conductividad iónica

La conductividad iónica (σ) de los copolímeros StVTz se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma = d/(Rb \cdot A) \text{ (Ec. 6)}$$

Donde d es el espesor de la película delgada de StVTz, A es el área de contacto de los electrodos con la película delgada de StVTz y R_b es la resistencia aparente.

La resistencia a granel de los electrolitos poliméricos sólidos se puede determinar con la ayuda de la espectroscopía de impedancia [42]. En este estudio, se utilizó el diagrama de impedancia de Nyquist (Z' - Z 'plot') para determinar el circuito equivalente apropiado y estimar los valores de los parámetros del circuito que reflejan el transporte de la membrana y las propiedades de la interfaz.

Teniendo en cuenta que en este trabajo solo se examinaron membranas electrolíticas poliméricas planas, la calidad del área de contacto y la influencia de la presión entre la membrana y los electrodos de platino es un factor crucial para las mediciones de impedancia [43,44]. Para minimizar el efecto de la presión y la calidad del área de contacto entre electrodos y membrana, se utilizó el mismo sistema para la comparación entre las diferentes membranas. Se usaron dos bloques de vidrio y láminas de Pt (0,1 mm de espesor) para construir la celda de conductividad para mediciones a través del plano. A uno de los bloques de vidrio se unieron dos láminas de Pt de 20 x 10 mm. Los bloques de vidrio se fijaron por medio de clips de encuadernación. Se cortaron membranas, se colocaron entre electrodos y se midió la impedancia en dirección perpendicular (Fig. 4). La medición se llevó a cabo a temperatura ambiente.

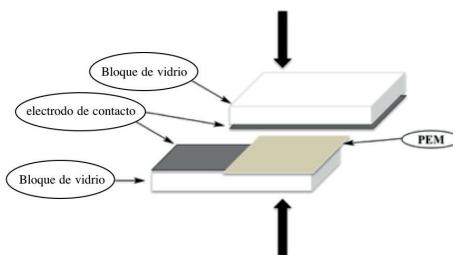


Fig. 4. Celdas de impedancia a través del plano que muestran la disposición de la sonda. Los espectros de impedancia de todas las membranas conductoras de protones investigadas en nuestro estudio muestran una línea recta con una pendiente de ~50 a 70 grados en el rango medido de 0,5 MHz a 20 Hz a temperatura ambiente (Fig. 5). La pendiente recta está en buen acuerdo con el concepto de formación de capacitancia de doble capa en la interfaz entre electrolitos y electrodos metálicos en condiciones de bloqueo sin proceso de transferencia de carga [45-47].

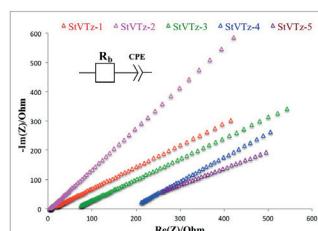


Fig. 5. Impedancia medida a través del plano de StVTz-1, StVTz-2, StVTz-3, StVTz-4 y StVTz-5.

Para determinar la resistencia e la membrana, los datos de impedancia del diagrama de Nyquist se ajustaron usando un circuito equivalente (inserto de la Fig. 5). El circuito equivalente se simplificó tanto como fue posible para describir el sistema polimérico real, donde R_b es la resistencia aparente y CPE son los elementos de fase constante [48,49].

La tabla 7 muestra los valores de resistencia aparente (R_b) determinados. Como se observa, la conductividad iónica del copolímero StVTz depende en gran medida de la composición. Se obtuvieron valores de conductividad (σ) entre 6.702 mS.cm^{-1} , para la composición StVTz-2, y $72.76 \times 10^{-3} \text{ mS.cm}^{-1}$, para la composición StVTz-5, en RT.

Tabla 7. Datos del espectroscopía de impedancia electroquímica. PEM	Area (cm²)	Grosor de la membrana (cm)	R_b (Ω)	σ (mS.cm⁻¹)
StVTz-1	1.6	0.0193	6.82	1.769
StVTz-2	1.6	0.0448	4.18	6.702
StVTz-3	2.0	0.0250	58.06	0.215
StVTz-4	1.5	0.0470	185.50	0.169
StVTz-5	2.0	0.0226	155.30	0.073
Nafion 117	1.6	0.0186	1.197	9.417

A pesar de utilizar las diferentes membranas y el mismo tipo de electrodo de Pt, los diferentes valores de los resultados de R_b pueden indicar que el proceso de difusión en la membrana se produce de manera diferente, así como indicar el efecto de las composiciones de las membranas. Un R_b mayor indicaba un proceso de difusión menor o más lento. Puede verse en la Tabla 7, que el R_b aumentó en el orden de StVTz-2 < StVTz-1 < StVTz-3 < StVTz-5 < StVTz-4. Cabe señalar que el R_b de las membranas es mayor que el de Nafion®-117, lo que indica que el proceso de difusión en la membrana se retrasó en comparación con Nafion®-117. En particular, el efecto general de la variación de R_b entre diferentes composiciones de membrana es significativo. Por otro lado, se observa que el efecto de la concentración de tetrazol sobre el valor de conductividad del copolímero cambia, sin embargo, este efecto no es lineal (Fig. 6 (a)). Para esta clase de copolímeros, la relación directa entre la conductividad y la cantidad de agua enlazada es más significativa (Fig. 6 (b)).

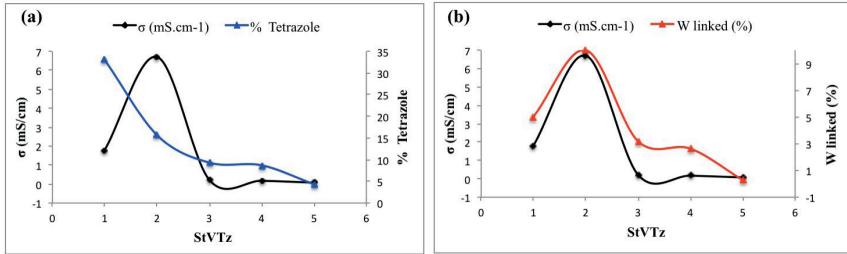


Fig. 6. (a) Variación de conductividad y composición para copolímeros StVTz. (b) Variación de conductividad y porcentaje de agua unida para copolímeros StVTz.

CONCLUSIONES

Se preparó y caracterizó una nueva serie de copolímeros que contenían estireno y vinil tetrazol. Los análisis térmicos demuestran que los copolímeros son estables a temperaturas superiores a 200 °C y presentan una Tg proporcional a la cantidad de grupo tetrazol presente en el copolímero. Se prepararon membranas y se usaron para la caracterización. El análisis morfológico por microscopía de fuerza atómica demuestra la presencia de una sola fase con rugosidad proporcional a la hidratación. No observamos ninguna relación entre WU, IEC y WC con la composición del copolímero. Las propiedades eléctricas se determinaron por impedancia electroquímica y los resultados se compararon con Nafion®-117. Los resultados muestran una buena relación entre la conductividad iónica y el porcentaje de agua ligada en la membrana. Estos resultados concuerdan con la conductividad iónica por el mecanismo de Grotthuss y demuestran un gran potencial de esta clase de compuestos para aplicaciones en membranas de intercambio iónico.

Declaración de competencia de intereses

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en competencia conocidos o relaciones personales que pudieran haber parecido influir en el trabajo informado en este documento.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado financieramente por el Centro de Investigación en Química Aplicada - CIQA. Los autores agradecen la asistencia con el análisis y las instalaciones proporcionadas por el Laboratorio Nacional de Materiales Grafénicos - LNMG. Los autores agradecen el apoyo del CONACYT – Beca 31097.

REFERENCIAS

- EG&G Technical Services, Inc., Fuel Cell Handbook,, 2004. ISBN-10 1365101134

2. M.R. Heinzen, G.C. Simoes, M.A. Fiori, M.M.S. Paula, R. Proton exchange fuel cell: The design, construction and evaluation, *J. New Mater. Electrochem. Syst.* 13 (2010) 201-204.
3. S.V. Levchik, A.I. Balabanovich, , P.N. Gaponik,I decomposition of tetrazole-containing polymers. V. Poly-1-vinyl-5-aminotetrazole, *Polym. Deg.Stab.* 47 (1995) 333. [https://doi.org/10.1016/0141-3910\(94\)00130-8](https://doi.org/10.1016/0141-3910(94)00130-8)
4. O.A. Ivashkevich, S.V. Levchik, P.N. Gaponik, V.A. Krasitsky, *Doklady Akademii Nauk Belarusi*, 38 (1994) 59-62.
5. J. Larminie, A. Dicks, *Fuel Cell Systems Explained*, 2nd ed.; Wiley: New York, 2003; pp 72–73. ISBN: 978-1-118-87833-0
6. E.A. Ticianelli,, *Handbook of Fuel Cells; Fundamentals, Technology, Applications*, Vol. 3: Part 1; Wiley: New York, (2003) 490–491. ISBN: 047-1-49926-9.
7. T.R. Ralph, M.P. Hogarth, *Catal ofr Low Temp. Fuel Cells, Platin. Met. Rev.* 46 (2002) 146–164.
8. T.R. Ralph, M.P. Hogarth, *Catal.s for Low Temp.Fuel Cells Part II: The Anode Challenges, Platin. Met. Rev.* 46 (2002) 117-135.
9. S. Lister, G. McLean, *PEM fuel cell elect.. Power Sources* 130 (2004) 61–76. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2003.12.055>
10. B. Liu, H. Mei, D. DesMarteau, S, *Electrochemical Behavior of Platinum Nanoparticles on a Carbon Xerogel Support Mod. with a [(Trifluoromethyl)- benzenesulfonyl]imide Electrolyte, J. Phys. Chem. B* 118 (2014) 14115–14123. <https://doi.org/10.1021/jp505417e>
11. H.A. Elwan, M. Mamlouk, K. Scott, *A rev.f proton exch.memb based on protic ionic liquid/polymer blends for polymer elect.e mem.e fuel cells, J. Power Source*, 484 (2021) 229197. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.229197>
12. G.H. Byun, J.A. Kim, N.Y. Kim, Y. Mol. Eng.ng of hydrocarbon memb.to substitute perfluorinated sulf.acid memb.rane for proton exchange memb.fuel cell ope.n, *Mater. Today Energy* 17 (2020) 100483. <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2020.100483>
13. P. Lassalas, B. Gay, , M. Huryn, C. Ballatore, *Structure Property Relationships of Carboxylic Acid Isosteres, J. Med. Chem.* 59 (2016) 3183–3203 <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.5b01963>
14. [14] J.Y. Li, X.Q. Zhou, Y. Zhou, Y, *A highly specific tetrazole-based chemosensor for fluoride ion: a new sensing functional group based on intramolecular proton transfer, Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* 102 (2013) 66–70. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2012.10.069>
15. M. Pagacz-Kostrzewska, M. Mucha, M. Weselski, M. Wierzejewska, *Conformational properties and photochemistry of new allyl tetrazoles: matrix isolation FTIR and computational approach, J. Photochem. Photobiol. A* 251 (2013) 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2012.10.023>
16. D.R. Dos Santos, A.G.S. Oliveira, R.L. Coelho, I.M. Begnini, R.F. Magnago, L. Da Silva, *Synthesis of liquid crystals materials derived from oxadiazole, isoxazole and tetrazole heterocycles, ARKIVOC.* 17 (2008) 157-166. <http://dx.doi.org/10.3998/ark.5550190.0009.h14>

17. L. Da Silva, H. Gallardo, R. F. Magnago, I.M. Begnine, Liquid Crystals Containing the Isoxazole and Tetrazole Heterocycles, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 432 (2005) 1-13. <https://doi.org/10.1080/154214090892528>
18. Y. Shao, W. Zhu, H. Xiao, Structure–property relationships of energetic nitrogen-rich salts composed of triaminoguanidinium or ammonium cation and tetrazole-based anions, *J. Mol. Graph. Model.* 40 (2013) 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.jmgm.2012.12.003>
19. [19] W. Wang, M. Chen, Y. Niu, Q. Tao, L. Bai, H. Chen, Z. Chengb, Facile one-pot synthesis and self-healing properties of tetrazole-based metallopolymers in the presence of iron salts, *RSC Adv.* 7 (2017) 47316-47323. <https://doi.org/10.1039/C7RA09621F>
20. S.V. Voitekhovich, P.N. Gaponik, G.I. Koldobskii, Organometallic Tetrazole Derivatives: Preparation and Application to Organic Synthesis, *Russ. J. Org. Chem.* 41 (2005) 1565–1582. <https://doi.org/10.1007/s11178-006-0001-4>
21. L. Da Silva, H. Freeman, Variation in hydrophobic chain length of co-adsorbents to improve dye-sensitized solar cell performance. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 21 (2019) 16771 – 16778. <https://doi.org/10.1039/C9CP02439E>
22. Y. Chen, M. He, C. Wanga, Y. Wei, A novel polyvinyl tetrazole-grafted resin with high capacity for adsorption of Pb(II), Cu(II) and Cr(III) ions from aqueous solutions, *J. Mater. Chem. A* 2 (2014) 10444–10453. <https://doi.org/10.1039/C4TA01512F>
23. M. Caldera-Villalobos, A.M. Herrera-Gonzalez, J. Garcia-Serrano, M.A. Martins-Alho, M.I. Montalvo-Sierra, Polyelectrolytes with tetrazole pendant groups useful in the stabilization of Au and Ag nanoparticles, *J. Appl. Polym. Sci.* 133 (2016) 43773. <https://doi.org/10.1002/app.43773>
24. S. Bosea, T. Kuilaa, T.X.H. Nguyenb, N.H. Kimc, K. Laua, J.H. Leea, Polymer membranes for high temperature proton exchange membrane fuel cell: Recent advances and challenges, *Prog. Polym. Sci.* 36 (2011) 813–843. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.01.003>
25. J.-H. Won, H.-J. Lee, K.-S. Yoon, Y.T. Hong, S.-Y. Lee, Sulfonated SBA-15 mesoporous silica-incorporated sulfonated poly(phenylsulfone) composite membranes for low-humidity proton exchange membrane fuel cells: Anomalous behavior of humidity-dependent proton conductivity, *Int. J. Hydrol. Energy* 37 (2012) 9202-9211. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.03.036>
26. U. Sena, S.U. Celik, A. Ata, A. Bozkurtb, Anhydrous proton conducting membranes for PEM fuel cells based on Nafion/Azole composites, *Int. J. Hydrol. Energy* 33 (2012) 2808-2815. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.03.007>
27. M. Schuster, W.H. Meyer, G. Wegner, H.G. Herz, M. Ise, Schuster, M., Kreuer, K. D., Maier, J. Proton mobility in oligomer-bound proton solvents: imidazole immobilization via flexible spacers, *Solid State Ion.* 145 (2001) 85–92. [https://doi.org/10.1016/S0167-2738\(01\)00917-1](https://doi.org/10.1016/S0167-2738(01)00917-1)
28. S. Özden, S.Ü. Celik, A. Bozkurt, Synthesis and proton conductivity studies of doped azole functional polymer electrolyte membranes, *Electrochim. Acta* 55 (2010) 8498–8503. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2010.07.082>
29. J. Li, J. Wang, X., Chen, Z. Lv, T. Chen, T. Wang, A highly conductive proton exchange membrane for high temperature fuel cells based on poly(5-vinyl tetrazole) and sulfonated polystyrene, *Solid State Ion.* 255 (2014) 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.ssi.2013.12.014>

30. N.N. Krishnan, N.M.H. Duong, A. Konovalova, J.H. Jang, H.S. Park, H.J. Kim, A. Roznowska, A. Michalak, D. Henkensmeier, Polybenzimidazole / tetrazole-modified poly(arylene ether) blend membranes for high temperature proton exchange membrane fuel cells, *J. Membr. Sci.* 614 (2020) 118494. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118494>.
31. H.-T. Pu, S. Ye, Preparation and proton conductivity of acid-doped poly(5-vinyl tetrazole-co-acrylonitrile), *React. Funct. Polym.* 66 (2006) 856–862. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2005.11.014>
32. W.L.F. Armarego, C.L.L. Chai, *Purification of laboratory chemicals*, 6th ed. Elsevier Inc; 2009.
33. L. Li, K. Wang, G. Zhu, J. Li, Preparation and properties of highly branched sulfonated poly(ether ether ketone)s doped with antioxidant 1010 as proton exchange membranes, *J. Membr. Sci.* 379 (2011) 440- 448. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.06.015>
34. J.C. Bevington, T.N. Huckerby, Studies of end-groups in polystyrene using ^1H NMR, *Eur. Polym. J.* 42 (2006) 1433–1436. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2005.12.011>.
35. J.U. Izunobi, C.L. Higginbotham, Polymer Molecular Weight Analysis by ^1H -NMR Spectroscopy. *J. Chem. Educ.* 88 (2011) 098-1104. <https://doi.org/10.1021/ed100461v>
36. S.V. Levchik, A.I. Balabanovich, O.A. Ivashkevich, P.N. Gaponik, Thermal decomposition of tetrazole-containing polymers. V. Poly-1-vinyl-aminotetrazole, *Polym. Degrad. Stab.* 47 (1995) 333-338. [https://doi.org/10.1016/0141-3910\(94\)00130-8](https://doi.org/10.1016/0141-3910(94)00130-8).
37. V.M. Barragán, M.J. Pérez-Haro, Correlations between water uptake and effective fixed charge concentration at high univalent electrolyte concentrations in sulfonated polymer cation-exchange membranes with different morphology, *Electrochim. Acta* 56 (2011) 8630–8637. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.07.060>
38. F.X. Quinn, E. Kampff, G. Smyth, V.J. McBrierty, Water in hydrogels. 1. A study of water in poly(N-vinyl-2-pyrrolidone/methyl methacrylate) copolymer, *Macromolecules* 21 (1988) 3191-3198. <https://doi.org/10.1021/ma00189a012>
39. Y.F. Huang, L.C. Chuanga, A.M. Kannanb, C.W. Lin, Proton-conducting membranes with high selectivity from cross-linked poly(vinyl alcohol) and poly(vinyl pyrrolidone) for direct methanol fuel cell applications, *J. Power Sources* 186 (2009) 22-28. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.09.072>.
40. Y.S. Kim, L. Dong, M.A. Hickner, T.E. Glass, V. Webb, J.E. McGrath, State of water in disulfonated poly(arylene ether sulfone) copolymers and a perfluorosulfonic acid copolymer (Nafion) and its effect on physical and electrochemical properties, *Macromolecules* 36 (2003) 6281-6285. <https://doi.org/10.1021/ma0301451>
41. A. Daryaei, E.-S. Jang, S. Roy, D. Kazerooni, J.J. Lesko, B.D. Freeman, J. S. Riffle, J.E. McGrath, Structure-property relationships of crosslinked disulfonated poly(arylene ether sulfone) membranes for desalination of water, *Polymer* 132 (2017) 286-293. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.10.056>.
42. X. Qian, N. Gu, Z. Xiurong, C. Yang, E. Wang, S. Dong, Methods to study the ionic conductivity of polymeric electrolytes using a.c. impedance spectroscopy, *J Solid State Electrochem* (2001) 6: 8-15. <https://doi.org/10.1007/s100080000190>

43. T. Soboleva, Z. Xie, Z. Shi, E. Tsang, T. Navessin, S. Holdcroft, Investigation of the through-plane impedance technique for evaluation of anisotropy of proton conducting polymer membranes, *J. Electroanal. Chem.* 622 (2008) 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2008.05.017>
44. A. Karthikeyan, P. Vinatier, A. Levasseur, Study of lithium glassy solid electrolyte/electrode interface by impedance analysis, *Bull. Mater. Sci.* 23 (2000) 179–183. <https://doi.org/10.1007/BF02719906>
45. M.T., Pérez-Prior, N. Ureña, M. Tannenberg, C. Del Río, B. Levenfeld, DABCO-Functionalized Polysulfones as Anion-Exchange Membranes for Fuel Cell Applications: Effect of Crosslinking, *J. Polym. Sci., Part B: Polym. Phys.* 55 (2017) 1326-1336. <http://dx.doi.org/10.1002/polb.24390>
46. J. Benavente, X. Zhang, R.G. Valls, Modification of polysulfone membranes with polyethylene glycol and lignosulfate: electrical characterization by impedance spectroscopy measurements, *J. Colloid Interface Sci.* 285 (2005) 273-280. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.11.051>
47. L. Da Silva, M. Sanchez, H.S. Freeman, New tetrazole based dyes as efficient co-sensitizers for DSSCs: Structure-properties relationship, *Org. Electron.* 87 (2020) 105964. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2020.105964>
48. S.B. Aziz, T.J. Woo, M.F.Z. Kadir, H.M. Ahmed, A conceptual review on polymer electrolytes and ion transport models, *J Sci-Adv Mater Dev* 3 (2018) 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.jsamrd.2018.01.002>
49. P. Heimerdinger, A. Rosin, M.A. Danzer, T. Gerdes, A Novel Method for Humidity-Dependent Through-Plane Impedance Measurement for Proton Conducting Polymer Membranes, *Membranes* 9 (2019) 62, 1-16. <https://doi.org/10.3390/membranes9050062>
50. H.A. Elwan, M. Mamlouk, K. Scott, A review of proton exchange membranes based on protic ionic liquid/polymer blends for polymer electrolyte membrane fuel cells, *J. Power Sources* 484 (2021) 229197. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.229197>

CAPÍTULO 11

INFLUENCIA DE LA PALIGORSKITA Y EL POLIFOSFATO DE AMONIO ENCAPSULADOS CON POLIUREA SOBRE LA INFLAMABILIDAD Y LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS COMPUESTOS DE MEZCLA PLA/EVA

Data de aceite: 02/08/2023

J.A. Rodriguez-Gonzalez

Centro de Investigación en Química Aplicada, 25294 Saltillo, Coahuila, México

S. Sanchez-Valdes

Centro de Investigación en Química Aplicada, 25294 Saltillo, Coahuila, México

E. Ramirez-Vargas

Centro de Investigación en Química Aplicada, 25294 Saltillo, Coahuila, México

L. da Silva

Centro de Investigación en Química Aplicada, 25294 Saltillo, Coahuila, México

L.F. Ramos-de Valle

Centro de Investigación en Química Aplicada, 25294 Saltillo, Coahuila, México

RESUMEN: En este trabajo, se encapsularon nanoarcilla de paligorskita y polifosfato de amonio con melamina y diisocianato mediante polimerización superficial *in situ*. Estos rellenos se incorporaron en una mezcla de poli (ácido láctico) (PLA) y copolímero de etileno y acetato de vinilo (EVA) como aditivos retardantes de flama (FR). Los resultados obtenidos confirman el notable aumento de la estabilidad térmica

y las características de FR del compuesto PLA/EVA. La encapsulación del relleno se caracterizó por FTIR y XRD. Los rellenos encapsulados de PLA/EVA obtenidos se caracterizaron mediante TGA y pruebas de retardancia al fuego tales como UL-94 (HB), LOI y calorímetro de cono. La incorporación de estos rellenos encapsulados aumenta significativamente la LOI y reduce la tasa máxima de liberación de calor durante las pruebas de calorimetría de cono con una mejor estabilidad térmica y una reducción notable en la tasa de combustión horizontal. Estos compuestos son una forma prometedora de satisfacer la creciente demanda de materiales de alto rendimiento con características ignífugas utilizando compuestos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

También se obtuvo una notable mejor dispersión de cada relleno al utilizar este sistema microencapsulado. Este aumento en las características de FR de la mezcla PLA/EVA se atribuyó a la formación de una homogénea capa carbonosa protectora en la superficie del compuesto. Esta mezcla de PLA/EVA con estos rellenos FR logró excelentes características de retardancia a la flama con buenas propiedades mecánicas, lo que es una buena opción

para obtener compuestos ignífugos con un mejor rendimiento. Estos compuestos son una forma prometedora de satisfacer la creciente demanda de materiales de alto rendimiento con características ignífugas utilizando compuestos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

ABSTRACT: In this work, palygorskite nanoclay and ammonium polyphosphate were encapsulated with melamine and diisocyanate via in-situ surface polymerization. These fillers were incorporated into poly (lactic acid) (PLA) and ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) blend as flame retardant (FR) additives. The obtained results confirms the remarkable increase in thermal stability and FR characteristics of PLA/EVA composite. The filler encapsulation was characterized by FTIR and XRD. The obtained PLA/EVA encapsulated fillers were characterized by TGA and fire retardant tests such as UL-94 (HB), LOI and cone calorimeter evaluations. The incorporation of these encapsulated fillers significantly increases the LOI and reduces the peak heat release rate during cone calorimetry tests with better thermal stability and a noticeable reduction in horizontal burning rate. These composites are a promising way to meet the growing demand for high performance materials with flame retardant characteristics using sustainable and environmental friendly composites. Also a noticeable better dispersion of each filler was obtained when using this microencapsulated system. This increase in PLA/EVA blend FR characteristics was attributed to the formation of a homogeneous char protective layer on the composite surface. This PLA/EVA blend with these FR fillers achieved an excellent FR characteristics with good mechanical properties which is a good option to obtain flame retardant composites with better performance. These composites are a promising way to meet the growing demand for high performance materials with flame retardant characteristics using sustainable and environmental friendly composites.

1 | INTRODUCCIÓN

Los polímeros provenientes de biorrecursos renovables, como el maíz o el almidón, han atraído mucha atención debido a su excelente biodegradabilidad [1,2]. Uno de estos polímeros es el ácido poliláctico (PLA), que ha atraído cada vez más la atención debido a su amplia aplicación en diversos campos que incluyen el embalaje, la ingeniería biomédica, los textiles, la electricidad y la electrónica y otras áreas [3-5]. Principalmente por su biodegradabilidad y buenas propiedades mecánicas, tales como alto módulo y transparencia [2,6].

El PLA ha sido utilizado recientemente en filamentos para impresión 3D [7,8], en objetos para diversos campos como biomédico, ingeniería de tejidos, bioimpresión, eléctrico-electrónico, automotriz, aeroespacial, sensores, baterías, robótica, entre otros. La impresión 3D de materiales poliméricos ignífugos podría afectar negativamente la ligereza de las estructuras desarrolladas y la capacidad de diseñar formas geométricas anómalas o intrincadas, principalmente debido a la mayor carga FR necesaria para lograr este retardo del fuego [9,10]. Una característica específica del PLA es su baja resistencia al impacto y alto módulo, que se ha mejorado al agregar polímeros de bajo módulo y alta tenacidad

como el etileno.

Se han utilizado varios materiales para mejorar la dureza mecánica del PLA, como poli(succinato de butileno), poli(adipato de butileno-co-tereftalato), elastómeros de poliuretano termoplástico (TPU), cauchos y otros polímeros [14-19]. Se ha encontrado que el PLA es compatible con EVA con una mayor concentración de VA debido al efecto sinérgico entre la estructura cristalina del poli(ácido láctico) (PLA) y la presencia de copolímero de etileno acetato de vinilo (EVA), lo cual produce mezclas de PLA/EVA altamente dúctiles.

Sin embargo, el PLA y el EVA presentan baja retardancia a la flama, lo cual limita significativamente su aplicación, especialmente en algunos campos en los que se requiere el mejor rendimiento del material [20,21]. Desafortunadamente, su inflamabilidad y goteo al quemarse también conllevan grandes riesgos para una aplicación más amplia. Se han realizado muchos esfuerzos para impartir FR al EVA o al PLA. En los últimos años, el principal interés se ha centrado en la incorporación de retardantes de llama (FR) libres de halógenos debido a sus características amigables con el medio ambiente [22,23]. Los hidróxidos metálicos, como el trihidrato de aluminio $[Al(OH)_3]$ y el hidróxido de magnesio $[Mg(OH)_2]$, se han utilizado para mejorar de forma eficaz la resistencia al fuego de los compuestos poliméricos. Sin embargo, estos hidróxidos metálicos requieren una carga de hasta el 60 % en peso para alcanzar una retardancia a la flama suficiente, lo que tiene un efecto negativo en el procesamiento y las propiedades mecánicas del compuesto retardante de llama [24].

Recientemente, la incorporación de nanoarcillas como la montmorillonita modificada, la haloisita o la sílice en una matriz polimérica ofrece un método prometedor para mejorar las propiedades al fuego [25-29]. Sin embargo, se ha reportado que estas nanopartículas no pueden usarse solas como retardantes de llama (FR) para cumplir con los requisitos de los estandares de reacción al fuego [29-31].

La paligorskita (Pal) es un silicato de aluminio y magnesio hidratado (2:1) con morfología fibrosa o de listones. Exhibe una excelente estabilidad química y térmica, gran área de superficie específica, alta relación de aspecto y alta densidad [32,33]. La Pal se ha utilizado recientemente como refuerzo para materiales poliméricos [34,35], así como retardante de llama en varias matrices poliméricas [30,35-38]. Se ha informado de una buena sinergia entre varios aditivos FR como la nanoarcilla y el polifosfato de amonio [39-41] debido a que combinan sus mecanismos ignífugos con un impacto insignificante en el comportamiento mecánico y ambiental del polímero [42]. Estos retardantes de llama (FR) pueden actuar mediante la dilución del combustible en la fase gaseosa y/o la formación de una barrera carbonizada en la fase condensada. Esta capa carbonosa puede actuar como aislante del material que se encuentra debajo protegiéndolo contra la difusión de calor, oxígeno y productos de descomposición gaseosos, disminuyendo así la inflamabilidad y mejorando la retardancia al fuego de los materiales [43]. La modificación de la superficie de los aditivos FR es una buena opción para disminuir el efecto negativo de la dispersión del

aditivo sobre las propiedades mecánicas del polímero y para mejorar las características FR del compuesto [44,45].

En este trabajo, se encapsularon Pal y APP con una capa de poliurea reticulada para analizar su efecto sobre la resistencia al fuego de los compuestos PLA/EVA. Estos compuestos PLA/EVA ignífugos de alto rendimiento son una forma prometedora de satisfacer la creciente demanda de compuestos de alto rendimiento con características ignífugas utilizando materiales sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

2 | EXPERIMENTAL

2.1 Materiales

Los polímeros utilizados fueron ácido poliláctico (PLA) con nombre comercial Ingeo 3052D de Nature Works con un MFI de 5,8 g/10 min, un copolímero de etileno-vinil acetato (EVA) de DuPont con 25 % de acetato de vinilo y un MFI de 3,0 g/10 min. La paligorskita (Pal) se obtuvo de vetas naturales en Chapab, Yucatán, México, la cual posteriormente fue purificada y modificada orgánicamente. La purificación se realizó con ácido clorhídrico a baja concentración (< 3 M) para eliminar las impurezas y generar un alto número de grupos silanol en la superficie. A continuación, la paligorskita purificada se sometió a un tratamiento químico, consistente en injertar moléculas de silano orgánico sobre la superficie de arcilla fibrosa con el fin de mejorar las interacciones entre los compuestos orgánicos e inorgánicos. Se utilizó 3-glicidiloxipropil-trimetoxisilano (GLYMO) para modificar la paligorskita, de Sigma-Aldrich con una pureza del 99 %. El polifosfato de amonio (APP104MF) fue adquirido a Hangzhou JLS Flame Retardants Chemical.

2.2 Procedimiento de encapsulación

La Pal y la mezcla Pal/APP se encapsularon utilizando un matraz de fondo redondo de tres bocas de 500 ml equipado con condensador de reflujo, agitador magnético y un termómetro sumergido en agua. Se dispersaron 70 g de Pal o la mezcla Pal/APP en diferentes proporciones en 250 mL de acetona y se agitó hasta que el polvo se dispersó homogéneamente y luego se calentó lentamente hasta llegar a 55 °C. En seguida, se alimentó lentamente al matraz una solución de 8 g de difenilmetano 4,4-diisocianato (MDI) en acetona. Luego, gota a gota se alimentó al matraz una dispersión de melamina (MEL) en acetona y la reacción continuó a 55 °C durante 4 h. Luego, el producto obtenido se filtró al vacío, se lavó con acetona y se enjuagó tres veces con agua desionizada a 60 °C. Finalmente, el producto se secó a 80 °C durante un día y posteriormente se molió hasta obtener un polvo fino. Este aditivo FR compuesto por Pal o Pal/APP recubierto con MEL se incorporó luego al sistema polimérico PLA/EVA. La Tabla 1 muestra los compuestos

preparados. Un diagrama esquemático de la estructura núcleo-corteza se presenta en la Fig. 1 que ilustra la co-microcápsula compuesta por un núcleo Pal o Pal/APP encapsulado con una capa de poliurea obteniendo una estructura núcleo-cubierta y la Figura 2 muestra el esquema propuesto de la interacciones entre estos.

Muestra	PLA/EVA 80/20 (% peso)	Pal (% peso)	APP (% peso)
PLA/EVA	100	0	0
PLA/EVA-6Pal-0APP	94	6	0
PLA/EVA-6Pal-3APP	91	6	3
PLA/EVA-[6Pal-0APP] ^a	94	6	0
PLA/EVA-[6Pal-3APP]	91	6	3
PLA/EVA-[6MPal-0APP]	94	6	0
PLA/EVA-[6MPal-3APP]	91	6	3
PLA/EVA-[9MPal-0APP]	91	9	0
PLA/EVA-[9MPal-4APP]	87	9	4

^alos [] indican que la muestra se encapsuló y la M que la arcilla se modificó.

Tabla 1. Descripción de los compuestos

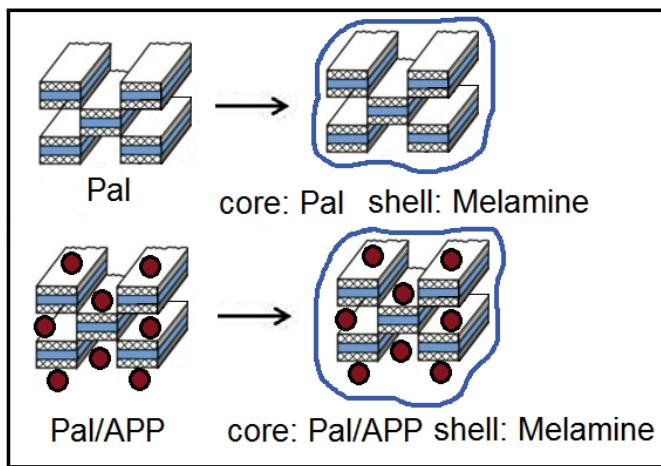


Figura 1. Esquema de la co-microcápsula con núcleo de Pal o Pal/APP y con cubierta de Melamina

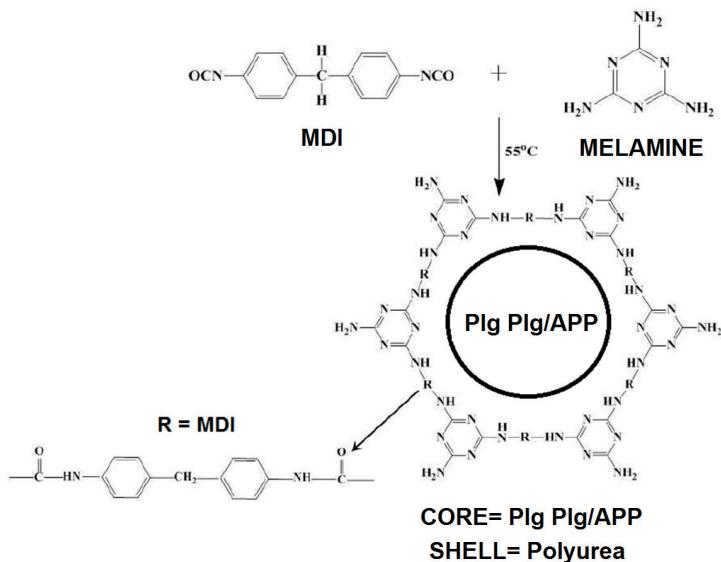


Figura 2. Esquema de las interacciones núcleo-coraza (core-shell)

Preparación de los compuestos PLA/EVA con aditivo FR

Los compuestos de PLA/EVA (en una proporción de 80/20) fueron preparados con diferentes cantidades de aditivos FR mediante mezclado por fusión utilizando un mezclador interno de laboratorio Brabender con una cámara de mezclado de 70 cm³, con rotores tipo *roller*, a 60 rpm y 170 °C, de la siguiente manera: Primero se incorporó PLA y luego de 3 min se agregó EVA y se mezcló por 3 min y finalmente se incorporó el aditivo FR y se continuó con la mezcla por 5 min más. Las muestras se prepararon en láminas de 3 mm de espesor a partir de los compuestos preparados mediante prensado en caliente a 120 °C con 10 MPa de presión durante 10 min, que luego se cortaron en el tamaño apropiado para los diferentes análisis.

Caracterización

Las muestras se caracterizaron por microscopía electrónica de barrido (SEM) usando un JEOL JCM-6000 operado en modo SEI con un voltaje de 15 kV. Se obtuvieron imágenes SEM para al menos 3 especímenes de cada muestra. Se realizó el análisis de FTIR en un equipo Nicolet-550. Las mediciones mecánicas dinámicas en modo de flexión se llevaron a cabo en un analizador DMA 938 de TA Instruments. Las muestras se caracterizaron por Análisis Termogravimétrico en un TGA TA Instruments Q500 a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, de 30 a 600 °C, en atmósfera de nitrógeno. La resistencia a la tensión y la elongación a la rotura se determinaron utilizando una máquina

de ensayos MTS Criterion Model 43 acoplada a una celda de carga de 5kN, con una velocidad de 50 mm/min, de acuerdo con la norma ASTM D638-14. El valor LOI se midió utilizando el instrumento de análisis del índice de oxígeno limitante en barras de prueba de tamaño 100 x 6.5 x 3.0 mm, de acuerdo con la norma ASTM D2863. La prueba de combustión horizontal UL-94 se realizó de acuerdo con la norma ASTM D635. Los datos del calorímetro de cono se obtuvieron de acuerdo con E1354-12 con un calorímetro de cono dual FTT bajo un flujo de calor de 35 kW/m², utilizando al menos tres especímenes de cada muestra para determinar: el tiempo de ignición, la tasa máxima de liberación de calor y el calor total desarrollado.

3 I RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de paligorskita modificada

La Figura 3 muestra los espectros FTIR de Pal sin modificar y modificada con silano. Esta figura muestra las bandas características de paligorskita en muestras modificadas y no modificadas. Las señales alrededor de 3000-3600 cm⁻¹ se asignan a la vibración de estiramiento de los grupos –OH, específicamente el pico en 3614 cm⁻¹ se atribuye al enlace O-H. La de 981 cm⁻¹ se debe al estiramiento perpendicular al plano de enlaces Si-O. La de 912 cm⁻¹ se le atribuye a la flexión en los enlaces Al-Al-OH y la de 644 cm⁻¹ corresponde a enlaces de estiramiento del agua coordinada con Mg [47,48]. Las señales en 3542 y 3538 cm⁻¹ corresponden a agua coordinada en los canales de arcilla. La Figura 2-B se enfoca en la longitud de onda de 700 a 1500 cm⁻¹ en la que se puede ver un aumento significativo en la señal de la banda a 910 cm⁻¹ que se relaciona con el grupo oxígeno en el silano GLYMO [49,50]. Esta señal también aparece en el Pal sin modificar, pero a menor intensidad, lo que hace que las señales emitidas por las arcillas modificadas y sin modificar se superpongan en esa banda. El aumento significativo en esta banda a 910 cm⁻¹ en la arcilla modificada que está asociada con el grupo oxirano sugiere que la molécula de silano está unida a la superficie de la arcilla por interacciones con las moléculas de hidroxilo en el Pal.

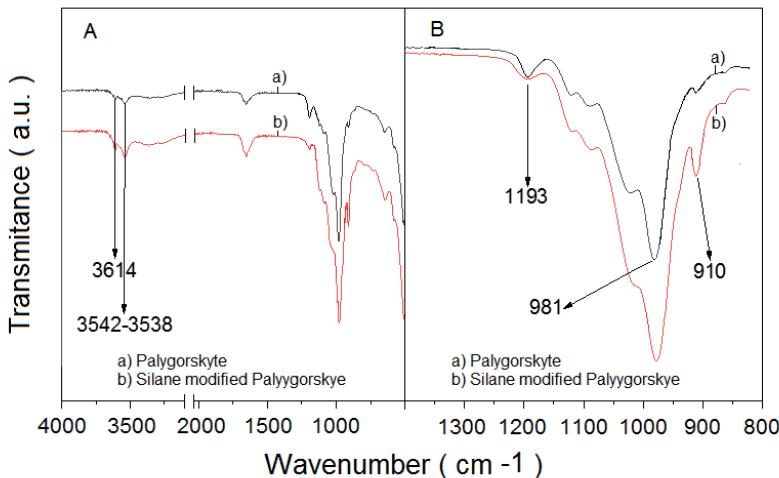


Figura 3. Espectros de FTIR de la Pal sin modificar y modificada con silano

Se realizó la comparación del sistema Pal modificado con APP sin encapsular en la Figura 3, donde en PalM&APP se marcaron las longitudes de onda del oxirano (910 cm⁻¹) correspondientes al GPTMS, y de los enlaces Si-O-Si . (981-1193 cm⁻¹) que se encuentran en el Pal modificado, sumando solo los valores de número de onda de una banda muy pronunciada de NH₄⁺ que va desde los valores de 3030 a 3400 cm⁻¹, los valores de 1243 y 1423 cm⁻¹ correspondiente a la vibración de tensión P-O y 796 cm⁻¹ correspondiente a la vibración de tensión P-O-P y que corresponden al polifosfato de amonio (APP) [51]. Una vez identificadas las bandas características de este sistema ignífugo, se compara con las formulaciones de plgM&APP y la presencia del

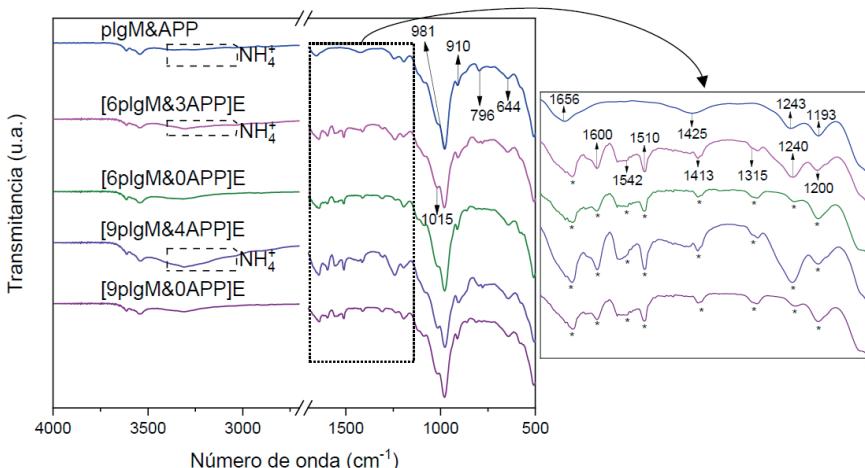


Figura 4. Espectros de FTIR del sistema Pal modificado con APP sin encapsular

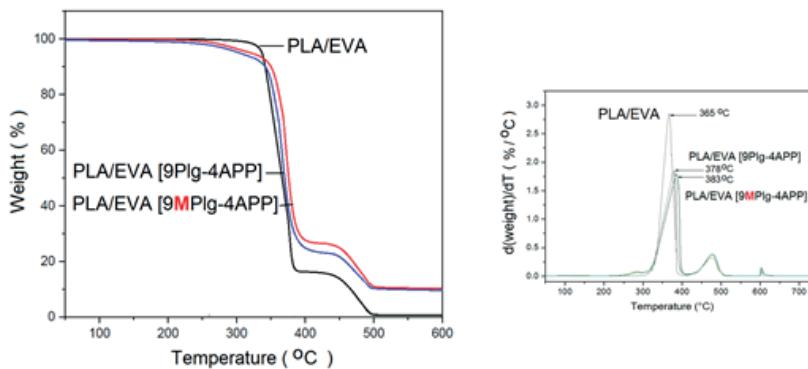


Figura 5. Curvas de TGA de las muestras con los dos FRs

La Figura 5 muestra las curvas TGA y DTG de los dos FR en nitrógeno. Hay tres pasos en la curva TGA de la mezcla MH/RP (Fig. 5a), que corresponden a tres picos de tasa de pérdida de masa (MLR) en la curva DTG de este FR (Fig. 4b). En cambio, además de los tres pasos, aparece un nuevo paso en la curva TGA de la co-microcápsula M[PAL/appAPP] a partir de 365 °C, a 376 para muestra no encapsulada y a 385 para muestra pal-app encapsulada con poliurea. indica que APP y el proceso encapsulado mejoraron la temperatura de degradación con el mejor comportamiento térmico.

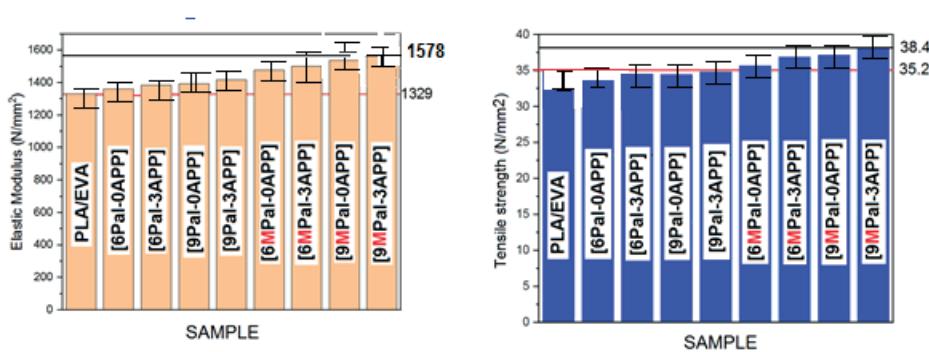


Figura 6. Módulo y resistencia a la tensión de varias muestras de los compuestos EVA/PAL-APP

La Figura 6 muestra el módulo y la resistencia a la tracción de los compuestos con varios contenidos de aditivos fFR. Se ve claramente que la inclusión de f Pal aumenta el módulo y cuando la mezcla Pal-APP se encapsula con poliurea se observa un aumento

notable en la resistencia a la tracción. Esto sugiere que el proceso de encapsulación y la modificación de la arcilla Pal mejoraron la adhesión interfacial entre el aditivo fFR y la matriz de polímero de la mezcla PE/PLA como se reporta en otros trabajos [41].

La Figura 7 presenta las imágenes de SEM de la mezcla Pal-APP y la co-microcápsula M[Pal-APP]. Como se muestra en la Fig. 7a, la mezcla Pal está compuesta de partículas discretas con diferentes tamaños. La superficie de las partículas es lisa y las partículas tienen bordes claros. E incluso se pueden ver partículas fibrosas sueltas, lo que sugiere que estas partículas no estaban recubiertas; por otro lado, en comparación, la co-microcápsula en la Fig. 7b exhibe una morfología completamente diferente en la que la superficie de las partículas está cubierta con una capa de sustancia similar a un flóculo y el borde afilado de las partículas se vuelve imperceptible. Obviamente, se puede ver que tanto las partículas de Pal como las de APP han sido encapsuladas por poliurea, produciendo una co-microcápsula de núcleo-coraza.

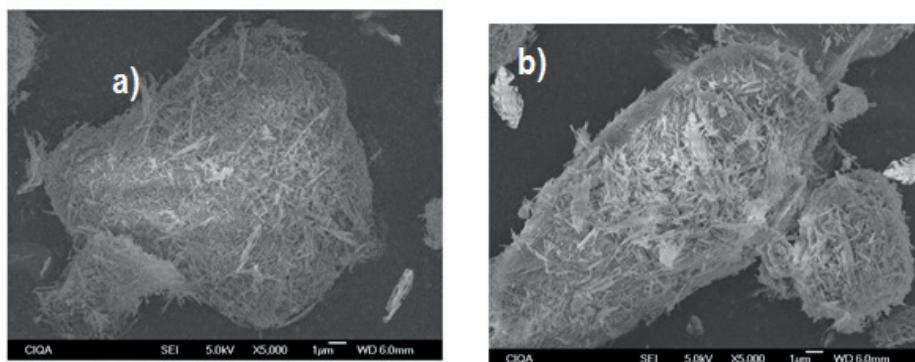


Figura 7. Imágenes de SEM de: a) Pal-APP y b) [Mpal-APP]P

La Figura 8 muestra los resultados EDX obtenidos de las imágenes SEM para compuestos en los que se pueden ver las dos fases con una morfología bien definida de la mezcla EVA/PLA también se puede ver que la partícula consta de elementos Si, N y P que aparecen muy heterogéneamente distribuidos. Por otro lado, una morfología más homogénea en las muestras no encapsuladas mientras que el microencapsulado simple muestra una inversión en elementos y estos elementos aparecen más homogéneamente dispersos, los contenidos de S y P en la superficie de la reacción. Estos resultados sugieren que la poliurea ha cubierto la superficie de la mezcla Pal/APP después de la reacción de polimerización. Esto corresponde con los resultados de FTIR y SEM.

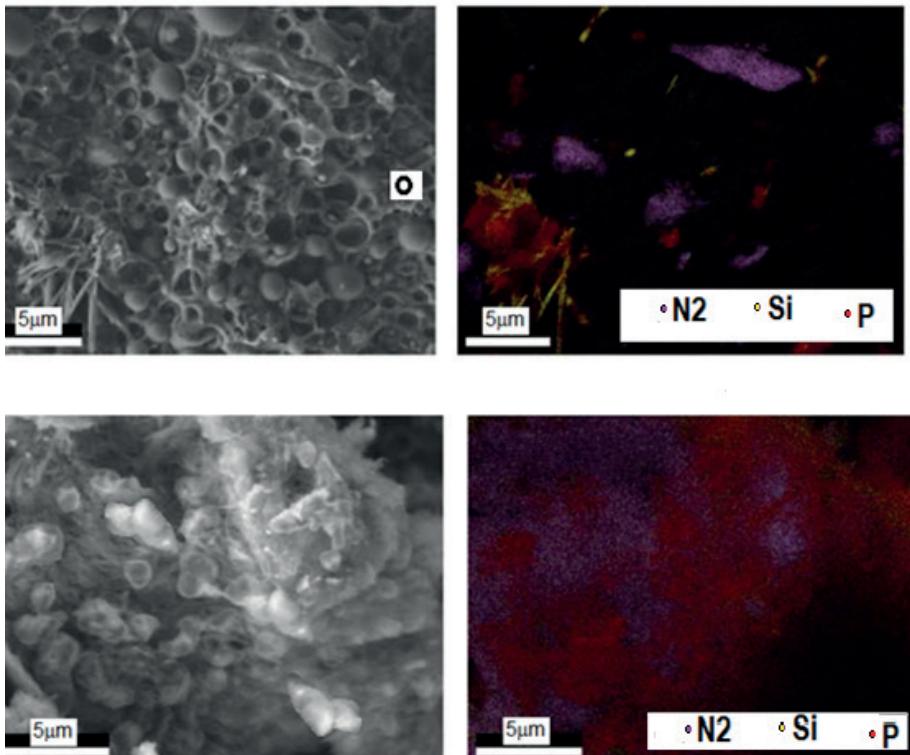


Figura 8. Imagen de EDX de la dispersión de N₂, Si y P en la matriz de la mezcla EVA/PLA

3.2 Retardancia a la llama de los compuestos

La Figura 9 muestra las curvas de THR frente al tiempo obtenidas mediante la prueba del calorímetro de cono y la Tabla X muestra los resultados obtenidos a partir de estas curvas. A partir de la curva THR, se ve claramente que la muestra prística de EVA/PLAbblend muestra el pico más alto de 622 en THR, lo que indica que esta muestra se quema muy fácilmente y muestra el LOI más bajo en la Tabla 2. La inclusión de pal reduce ligeramente el pico de THR en cerca de 7 % mientras que la encapsulación de PAL AND app reduce este THR Peak por encima del 26% y con PLA modificado con silano y APPencapsulado con poliurea esta reducción está por encima del 50 % indicando que la modificación PAL y el proceso de encapsulado reducen significativamente el <HR con un aumento de ley notable en LOI al 28 %. Se ve claramente que la muestra con mejor comportamiento de RFR fue la [Mpa]APP] recubierta con poliurea con el pico más bajo de tHR y el LOI más alto, lo que indica que la mejor dispersión inducida por la modificación de pal y el proceso de encapsulación de la olyurea influyeron en el mejor LOI. , y los resultados de las pruebas de calorímetro cónico de las propiedades ignífugas de los compuestos, se realizaron pruebas LOI para investigar el comportamiento ignífugo de los nanocomuestos.

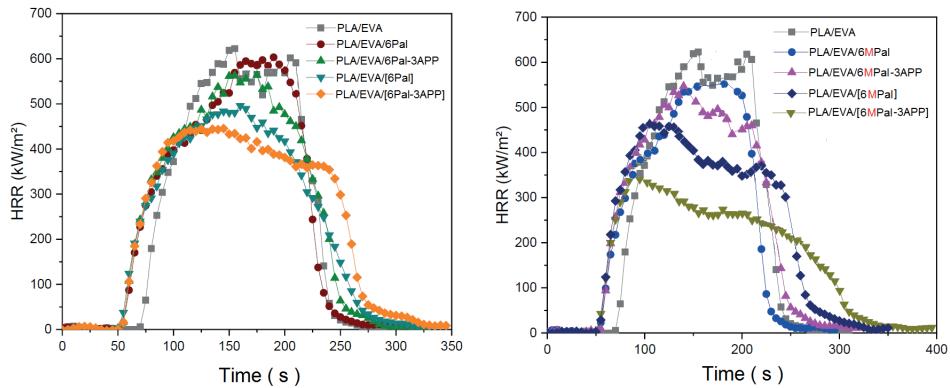


Figura 9. Tasa de liberación de calor (HRR) vs. tiempo para (a): polímeros puros y muestras compuestas no encapsuladas, (b) mezcla pura de polímeros y muestras compuestas encapsuladas de núcleo-coraza.

Como se puede ver en la Tabla 2, la prueba del índice de oxígeno limitante (LOI) mide la concentración mínima de oxígeno que se requiere para soportar la combustión, el LOI de la mezcla de polímero puro mostró el más bajo de todas las muestras (19,5 %), lo cual es característico de este tipo. de polímeros, lo que indica que esta mezcla requiere concentraciones de oxígeno más bajas para sofocar la combustión ardiente. Se puede observar que cuando se incorpora arcilla Pal. El valor LOI aumenta a 20,8%, lo que se atribuye al efecto de la arcilla que protege la muestra con la espuma de carbón, así como a la liberación de agua de la arcilla durante la combustión. La combinación de arcilla Pal con APP mostró mejores valores de LOI y la encapsulación de estas muestras con poliurea mostró los valores más altos de LOI (28,3 %), lo que indica que la combinación de arcilla con APP y el proceso de encapsulación con poliurea promovieron una mejor capa protectora de carbón. con las consiguientes mejores propiedades de resistencia a la flama.

MUESTRA	TTI (s)	pHHR [kJ/(s.m ²)]	% Reducción	THR [MJ/m ²]	LOI (%)
PLA/EVA	62	622	--	47	20.0
PLA/EVA 6Pal-3APP/PLA/EVA 6Pal-3APP	43	580	7.8	45	21.4
PLA/EVA 6Pal-3 PLA/EV PLA/EVA 6Pal-3APPA 6Pal-3APPAPP	43	573	7.8	45	21.4
PLA/EVA [6Pal]	44	455	26.8	43	23.3
PLA/EVA 6Pal-3APP	41	401	35.5	42	24.5
	44	548	11.9	43	22.6
PLA/EVA 6MPal-3APP	43	518	16.7	42	23.8
PLA/EVA [6MPal]	42	418	32.8	38	25.2
PLA/EVA [6MPal-3APP]	44	306			
PLA/EVA [6MPal]	42	418	32.8	38	25.2
PLA/EVA [6MPal-3APP]	44	306	50.8	32	28.3

Tabla 2. Valores de resistencia a la flama obtenidos de las pruebas de calorímetro de cono y valores LOI para varias muestras compuestas [PLA/EVAPal-APP]

Analizando la capa carbonosa formada después de la combustión durante la prueba del calorímetro de cono, las imágenes se muestran en la Figura 10, donde se puede ver que el EVA/PLA puro no formó ningún residuo de carbón y se consumió por completo, lo cual es típico de este tipo de polímeros que no tienen ningún comportamiento de resistencia a la flama y tienden a consumirse por completo durante la combustión. Las muestras con Pal y APP muestran un comportamiento muy diferente con una capa de carbón notable pero formaron un revestimiento de carbón no muy homogéneo con grietas y agujeros significativos que facilitan la transmisión de oxígeno y difusión de gases tóxicos durante la quema. Por otro lado, las muestras con Pal y APP recubiertas con poliurea muestran una estructura protectora muy gruesa con una capa gruesa homogénea muy uniforme que permite una capa protectora de carbón uniforme espumante que protege el material del oxígeno la difusión de oxígeno y tóxicos envejece la permeación durante la quema con el consiguiente mejor comportamiento de FR.

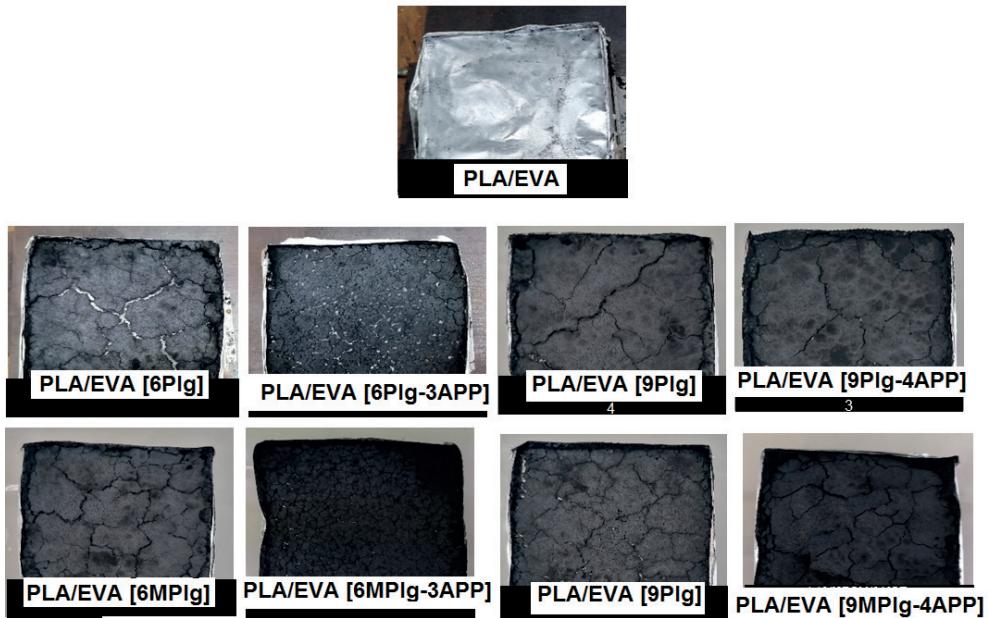


Figura 10. Imágenes de la capa carbonosa formada después de la prueba de cono calorimétrico para la muestra de PLA/EVA puro, los compuestos de PLA/EVA sin recubrir y los compuestos de PLA/EVA recubiertos con poliurea.

Este comportamiento fue confirmado en el análisis UL94 mostrado en la Figura 11, en la cual se muestra el efecto intumescente promovido por la encapsulación de Pal-APP con poliurea y se atribuye al mayor contenido de nitrógeno tanto en la APP como en el recubrimiento de poliurea que promovió la formación de una capa de carbón espumado que protege la muestra que ordena la combustión.

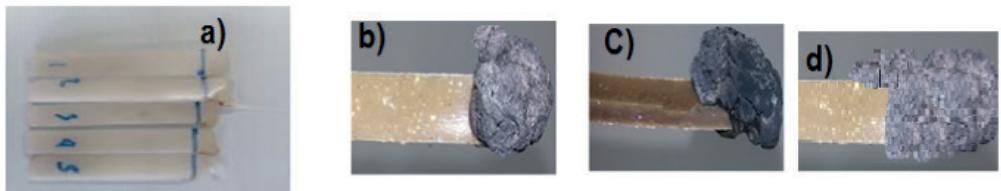


Figura 11. Imagen de la capa carbonosa formada tras la determinación de la velocidad de combustión de las muestras compuestas: a)PLA/EVA puro, b)PLA/EVA/Pal-APP c)PLA/EVA/9Pal-4APP d)PLA/EVA [9Pal-4APP]

CONCLUSIONES

Analizando los resultados obtenidos en este trabajo se puede concluir que fue posible modificar la arcilla PAL con un sileno ((GPTMS), se confirmó la formación de una estructura

núcleo-corteza con la identificación de poliurea durante la encapsulación de la sistema, el uso de Pal modificado con silano encapsulado con poliurea en una morfología de núcleo-cáscara mejoró las características ignífugas (fr), esta combinación de modificación Plg con aplicación encapsulada con poliurea también mejoró la dispersión de partículas a través de la matriz polimérica promoviendo una mejora en Debido a las características mecánicas del sistema, este proceso de encapsulado de núcleo inducido indujo la formación de una capa intumesciente que protege el material de la quema, retrasando la transmisión de oxígeno y reduciendo la liberación de gases tóxicos durante la combustión, sus compuestos PLA/EVA son una buena opción para 3D Aplicaciones de impresión con propiedades FR mejoradas y una alternativa prometedora con características biodegradables.

AGRADECIMIENTOS:

Autor, G. Pozos-Sanchez agradece CONACYT por la beca para sus estudios de maestría en CIQA. también los autores agradecen a CONAHCYT por su apoyo a través de los proyectos Conacyt-317097 y Fordecyt-292399.y también agradecen a los laboratorios nacionales de Materiales Grafénicos LNMG (Conacyt-232753), y de LANIAUTO (Conacyt-294030) y a Conacyt-31735 por el soporte en la adquisición de materiales y pruebas. También quieren agradecer a: A. Ochoa-Cordoba, J. F. Lara J.A. Mercado-Silva, Alejandro-Espinoza, M. Lozano, J. Rodriguez, G. Mendez, M.L. Guillen, Silvia-Torres, G. Mendez, M.L. Guillen, J. G. Rodriguez, J. Lopez-Rivera, M. Palacios-Mesta, R. Cedillo, S. Zertuche, R. Rangel-Ramirez, M.I. Solis-de P, M. L. Garcia-Salazar.

REFERENCIAS

1. Encalada K, Aldás MB, Proaño E, Valle V. An overview of starch-based biopolymers and their biodegradability. *Cienc e Ing.* **2018**;39(3):245-258. <https://www.redalyc.org/journal/5075/507557607005/html/>
2. Balla E, Daniilidis V, Karlioti G, et al. Poly(lactic acid): A versatile biobased polymer for the future with multifunctional properties-from monomer synthesis, polymerization techniques and molecular weight increase to PLA applications. *Polymers* **2021**;13(11). doi:10.3390/polym13111822
3. Baranwal J, Barse B, Fais A, Delogu GL, Kumar A. Biopolymer: A Sustainable Material for Food and Medical Applications. *Polymers*. **2022**;14(5):1-22. doi:10.3390/polym14050983
4. Zhou C, Wang X, Wang J, Pan Z, Zhou H. Epoxy resin modified with chitosan derivatives and DOPO: Improved flame retardancy, mechanical properties and transparency. *Polym Degrad Stab.* **2022**;199:109931. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2022.109931
5. Legett SA, Stockdale JR, Torres X, Yeager CM, Pacheco A, Labouriau A. Functional Filaments: Creating and Degrading pH-Indicating PLA Filaments for 3D Printing. *Polymers (Basel)*. **2023**;15(2). doi:10.3390/polym15020436

6. Mendoza-Duarte ME, Estrada-Moreno IA, García-Casillas PE, Vega-Ríos A. Stiff-elongated balance of PLA-based polymer blends. *Polymers (Basel)*. 2021;13(24). doi:10.3390/polym13244279
7. Tábi T. The application of the synergistic effect between the crystal structure of poly(lactic acid) (PLA) and the presence of ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) to produce highly ductile PLA/EVA blends. *J Therm Anal Calorim*. 2019;138(2):1287-1297. doi:10.1007/s10973-019-08184-x
8. Saito K, Huang L, Kadouaki Y, Inoue T. Evolution of Rubbery Plateau Region above the Melting Point of Poly(ethylene-co-vinylacetate) by the Incorporation of Montmorillonite. *e-Journal Soft Mater.* 2005;1:20-25. doi:10.2324/ejsm.1.20
9. Igwe Idumah C, Okonkwo UC, Obele CM. Recently emerging advancements in montmorillonite polymeric nanoarchitectures and applications. *Clean Mater.* 2022;4(November 2021):100071. doi:10.1016/j.clema.2022.100071
10. Benobeidallah B, Benhamida A, Kaci M, Lopez-Cuesta JM. Combined effect of palygorskite and melamine polyphosphate on flame retardancy properties of polyamide 11 nanocomposites. *Appl Clay Sci.* 2020;198(September):105837. doi:10.1016/j.jclay.2020.105837
11. Malucelli G. Flame-retardant systems based on chitosan and its derivatives: State of the art and perspectives. *Molecules*. 2020;25(18). doi:10.3390/molecules25184046
12. Shen J, Liang J, Lin X, Lin H, Yu J, Wang S. The flame-retardant mechanisms and preparation of polymer composites and their potential application in construction engineering. *Polymers* 2022;14(1). doi:10.3390/polym14010082
13. J. Munirah,,kasi, K.I Zaman,H. Faiezah.Thermal, Mechanical, Rheological and morphological properties of compatible poly(lactic acid)/ethylene vinyl acetate blends. in *Rubber, Plastics and Recycling Technology* 2022. 3(2):172 - 187.
14. [13]Tábi, T. (2019). The application of the synergistic effect between the crystal structure of poly(lactic acid) (PLA) and the presence of ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) to produce highly ductile PLA/EVA blends. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2019, 38(2), 1287–1297. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08184-x>
15. 15a T.ragunski. C. r R., Cardoso D.as, D. osianeMó, parecidoC.C., J.A, Mdification of the physicochemical properties of poly (butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT)/polylactic acid (PLA)-based electrospun nanofibers using salts. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspect* 2023, 6.7120 2 131604.
16. 16. , Wenjie,H ,Ziwei,. F, Yuanm C. X., Z.u Shaoqi,, ,S Kaiyun. Xiong..Z, , Zhigang Longli,W, Yuquan, ,i Y.i, J., J. Comparing the bacterial composition, succession and assembly patterns in plastisphere and kitchen waste composting with PLA/PBAT bJournal of Hazardous Materials Volume 45415 2023 131405
17. 17. , Jiawei H.L., L.,L, YangyangZ ;,Xiaofeng W, toJing W. Qian X. L., ,
18. Enhancing interfacial interaction of immiscible PCL/PLA blends by in-situ crosslinking to improve the foamability. *Save to list Create bibliography Polymer Testing Open Access 023 : 108063 Journal DOI 10.1016/j.polymertesting.2023.108063*
19. 18 Chengkai. L., , Zhengyi,H Xiangyu X., Jinshuo,Zhang Y., , Wang Q., Zhao D.;

20. , Y.to Z. Huiliang Y.Z., heological and mechanical properties, heat resistance and hydrolytic degradation of poly(butylene succinate-co-adipate)/stereocomplex polylactide blends *Journal of Applied Polymer Science* **140**, Is:**215** J2023 e53884
21. 20. Niu M., Zhang Z.,Zizhen W. and Wang W..Effect of a Novel Flame Retardant on the Mechanical, Thermal and Combustion Properties of Poly(Lactic Acid) Polymers **2020**, 12(10), 2407; <https://doi.org/10.3390/polym12102407>
22. by 21 Pe.. Yang, H.g Wu,* Yang F.i, . Yang J, Wang R., and ZhuZ. A Novel Self-Assembled Graphene-Based Flame Retardant: Synthesis and Flame Retardant Performance in PLA.2021 Dec; **021**.13(23): 4216. doi: 10.3390/polym13234216.
23. 22. Eduardo Ramirez-Vargas, Sanchez-Valdes Saul, Parra-Tabla Octavio, Castañeda-Gutierrez Sergio, Mendez-Nonell Juan Ramos-deValle, L.Fisco, Lopez-Leon A., R Lujan-Acosta r.. Structural Characterization of LDPE/EVA Blends Containing Nanoclay-Flame Retardant Combinations. *J of Appl Polym Scie* **2012**, 123: 1125–1136.
24. 22 Ramos-deValle. L. F., Ramírez-Vargas E., Sánchez-Valdes S., Espinoza-Martínez, A. B. Martínez-Colunga J. G., Rodríguez-Fernandez O. S., Cabrera-Alvarez E. N., and M. L. López-Quintanilla Effect of Nanometric Metallic Hydroxides on the Flame Retardant Properties of HDPE Composites *Journal of Nanomaterials* 014 (2014), A 969184,
25. 23. F., Xi,W. Zhengyu,Ma, H.Dang, B. to .g Li. Ianxi,B. JDevelopment of bio-based magnesium phosphate flame retardant for simultaneously improved flame retardancy, smoke suppression and mechanical properties of HDPE. *of J.Appl.Poly. Scie.* 40:e 2315 June 2023 e53927
26. . Olivares-Maldonado Y.din, Ramirez-Vargas E., Saul anchez-Valdes S, Ramos-DeValle,Ls . Rodriguez-Fernandez O.o S-, Espinoza-Martinez A, b., Medellín-Rodríguez F: j, Lozano-Ramirez T. Effect of Organoclay Structure Characteristics on Properties of Ternary PP-EP/EVA/Nanoclay Blend Systems. *Polymer Composites* **2014** 11: 2241–2250, N
27. 25. Sylwia,C., il to C Kairyté. ., Agnē S,o K. pAM, t olyurethane composites reinforced with walnut shell filler treated with perlite, montmorillonite and halloysite Polyurethane composites reinforced with walnut shell filler treated with perlite, montmorillonite and halloysite *International Journal of Molecular Sciences* **22**, **2021** 7304
28. . ore H. Jing,W. Tong,W, Haiyang.Z, Birong, Z.g B.Z. Shanni,c., TingM,W.Lu,zhenwu,Y., Conghui,B. Krishnasamy,P. Denise F.S.D., L.rajkowska, Nanohybrid silver nanoparticles@halloysite nanotubes coated with polyphosphazene for effectively enhancing the fire safety of epoxy resin *Chemical Engineering JOURNAL* **2021**.127087DOI;0.1016/j.cej.2020.127087
29. Rajan V. ,S. K. Bikramjit,S.,R. Mani Sanjay S.Kaur, H.Experimental assessment of nanoclay effect on hardness, tensile and flexural properties of glass fiber/epoxy laminates *Materials Today: Proceedings* **02379:95** 2
30. . AX. Wu, Z. Qin, W.Zhang, R. Yang.30. KCl nanoparticles-loaded ctaphenylsilsesquioxane as an efficient flame retardant for polycarbonate *Reactive and Functional Polymers* **2022**177, , 105284
31. Facile construction of flame-retardant, heat-insulating agar/polyvinyl alcohol composite aerogels via in situ formation of magnesium hydroxide and palygorskite-assisted strategy *Macromol* **2023**. . ,227:297-306. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.12.164

32. . Xin,Q.Xiaohu,C. Guoli,S. Hongxi.O.Chengwei,C., Sijie,H.g. Dajian. Facile construction of flame-retardant, heat-insulating agar/polyvinyl alcohol composite aerogels via *in situ* formation of magnesium hydroxide and palygorskite-assisted 2022,28, : 502-517
33. . S. Sánchez-Valdes, E. Ramírez-Vargas, J.A. Rodriguez-Gonzalez, J.A. Uribe-Calderón, L.F. Ramos deValle, J.D. Zuluaga-Parra, J.G. Martínez-Colunga, S.G. Solis-Rosales, A.C. Sanchez-Martínez, R. Flores-Flores, R. Saldívar-Guerrero Organopalygorskite and Molybdenum Sulfide Combinations to Produce Mechanical and Processing Enhanced Flame Retardant PE/EVA Blend Composites with Low Magnesium Hydroxide Loading J. of Vinyl and Additive TechnologY2020 26(4): 434-442
34. Li, S.Mu, Bin,M., Zhaojie.Z. Yingjie.Z. HongW. Aiqli,. Fcile Facile color regulation of organic/inorganic hybrid pigments combining with palygorskite and CoNi layered double hydroxidesor. Dyes and Pigments2023213, Dyes and Pigments2023 2013, 11162
35. ikovskii E.V.Simurov G.M. Veisova. ffect of modification on the hydrophobty of mineral powders of lamellar silicates. Soviet progress in chemistry1986 52,:24 – 27.
36. . L., Daokui,T. Yili,Z., Xiaochao,Zh. Xiaoguang,Z.Xinyi,, Huaming. Preparation of hierarchical porous microspheres composite phase change material for thermal energy storage concrete in buildings Applied Clay Science2023,232.106771
37. . H., Jie-Hao,F. Teng,L.. Shu-Liang,L., Zhen,Lu, .-Hui,L., Yu-Xin,L. Chuan,G. De-Ming,
38. L., Wen-Da. Intumescent closed-cell porous molecular engineering towards high flame retardancy and ultra-low smoke release epoxy resinCO mposites Part A: Applied Science and Manufacturing 023172S2,107620.
39. . L. Xiaoyan,G. Pengyu,Z. Borong,M., Jianxin, A novel ternary inorganic–organic hybrid flame retardant containing biomass and MOFs for high-performance rigid polyurethane foam colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects7120 2023 .13162 Jiang, Xu-Chen
40. .L. Ping,. Y.Yan, Y.-Wei.Z., Ping reparation and properties of APP flame-retardant ramie fabric reinforced epoxy resin composites dustrial Crops and Products 2023.197:116611
41. . Wang, B., Sheng, H., Shi, Y., Hu, W., Hong, N., Zeng, W., Ge, H., Yu, X., Song, L., & Hu, Y. (2015). Recent advances for microencapsulation of flame retardant. Polymer Degradation and Stability,2008.13.96–109. //doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2015.01.008
42. P.He , Y. Gao , J. Lian , L. Wang, D. Qian, J. Zhao , W. Wang , M.k J. Schulz c, X.Ping Zhou d, Do. Shi rface modification and ultrasonication effect on the mechanical properties of carbon nanofiber/polycarbonate composites Composites Part A: Applied Science and Manufacturing2006,9:s. 1270-127538.
43. Liu, J., He, Y., Chang, H., Guo, Y., Li, H., & Pan, B. (2020). Simultaneously improving flame retardancy, water and acid resistance of ethylene vinyl acetate copolymer by introducing magnesium hydroxide/red phosphorus co-microcapsule and carbon nanotube. Polymer Degradation and Stability, 2019,171,109051. https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.109051

CAPÍTULO 12

POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD FUNCIONALIZADO CON FENOL COMO COMPATIBILIZANTE DE NANOCOMPUESTOS DE POLIETILENO/ DE ALTA DENSIDAD (HDPE) /GRAFÉNO PARA MEJORAR LA ADHESIÓN INTERFACIAL Y PROPIEDADES MECÁNICA

Data de aceite: 02/08/2023

A. Zapata-Domínguez

J.G.Martínez-Colunga

S. Sanchez-Valdes

L.da Silva

L.F.Ramos-deValle

J.A. Rodriguez-Gonzalez

A. B. Espinoza-Martinez

E. Ramírez-Vargas

RESUMEN: En este trabajo se describe la metodología para la obtención de nanocomuestos de polietileno de alta densidad (HDPE) y grafeno (G) utilizando grafeno modificado con fenol y HDPE modificado con fenol como compatibilizante obtenido de la reacción de polietileno maleado (HDPE-g-MA) con fenol. Se utilizaron seis métodos diferentes para obtener estos compuestos, resultantes de la combinación de fusión y mezcla en solución con tres procedimientos diferentes para funcionalizar grafeno o HDPE-g-MA con fenol. Los nanocomuestos se caracterizaron por infrarrojos transformados

de Fourier (FTIR), microscopía electrónica de barrido (SEM), difracción de rayos X de gran angular (WAXD), análisis mecánico dinámico (DMA) y propiedades de tensión. Los resultados de FTIR evidenciaron una reacción de esterificación entre HDPE-g-MA y grupos fenol que actúan como compatibilizante. Los resultados SEM y WAXD mostraron que la adición de este agente compatibilizante tuvo un efecto positivo en la dispersión del grafeno, lo que promovió una mayor rigidez en estos materiales compuestos, presentando mayor módulo de almacenamiento. Además, se observó una mejora notable en la estabilidad dimensional a altas temperaturas de acuerdo a las mediciones de Tan Delta. Estos resultados indicaron una buena adhesión interfacial entre el grafeno y la matriz polimérica al utilizar este agente compatibilizante. Se observó que los compuestos obtenidos por el método de mezcla en solución mostraron un mejor rendimiento y adherencias interfaciales más fuertes que los compuestos producidos por métodos de mezcla en fundido. El uso de este compatibilizante de HDPE modificado con fenol ofrece una nueva opción para mejorar el rendimiento final de los compuestos de HDPE/grafeno con

mejores propiedades mecánicas y térmicas para ser utilizado en materiales para diversas aplicaciones, como la industria automotriz, eléctrica y electrónica, construcción, aeroespacial, y otras aplicaciones de ingeniería.

ABSTRACT: In this work, the methodology to obtain high-density polyethylene (HDPE) and graphene (G) nanocomposites using phenol-modified graphene and phenol-modified HDPE as compatibilizer obtained from the reaction of maleated polyethylene (HDPE-g-MA) with phenol, is described. Six different methods were used to obtain these composites, resulting from the combination of melt and solution mixing with three different procedures to functionalize either graphene or HDPE-g-MA with phenol. Nanocomposites were characterized by Fourier transform infrared (FTIR), scanning electron microscopy (SEM), wide angle X-ray diffraction (WAXD), dynamic mechanic analysis (DMA) and tensile properties. The FTIR results evidenced the occurrence of an esterification reaction between HDPE-g-MA and phenol groups serving as compatibilizer. The SEM and WAXD results showed that the addition of this compatibilizer agent had a positive effect on graphene dispersion, which promoted greater stiffness in these composite materials, presenting higher storage modulus. In addition, a noticeable enhancement in dimensional stability at high temperatures was observed according to Tan Delta measurements. These results indicated a good interfacial adhesion between graphene and the polymer matrix by using this compatibilizer agent. It was observed that the composites obtained by solution mixing method showed better performance and stronger interfacial adhesions than the composites produced by melt mixing methods. The use of this phenol modified HDPE compatibilizer offers a new option to enhance the final performance of HDPE/graphene composites with better mechanical and thermal properties to be used in materials for various applications, such as automotive industry, electrical and electronics, construction, aerospace, and other engineering applications.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el estudio de los nanocomuestos poliméricos ha ganado interés científico y tecnológico, principalmente por la notable mejora en el rendimiento de los compuestos con bajos contenidos de nanopartículas. Los nanocomuestos poliméricos que contienen nanopartículas con una relación de aspecto alta producen una serie de mejoras significativas en las propiedades conductoras mecánicas, eléctricas, ópticas y térmicas [1]. Estos compuestos de nanopartículas poliméricas han recibido una atención considerable, debido al gran potencial para el desarrollo de materiales de alto rendimiento para aplicaciones de ingeniería. Las nanopartículas de grafeno se han utilizado ampliamente como nanorefuerzo eficiente, lo que ha abierto nuevas posibilidades para la fabricación de materiales compuestos ligeros de alto rendimiento y bajo coste. Desde 2006 se reportan trabajos de materiales poliméricos reforzados con grafeno que mostraron excelentes propiedades [2–6]. Una de las principales preocupaciones en investigaciones recientes es mejorar la compatibilidad e interacciones entre matrices poliméricas y nanopartículas de grafeno. Esta interacción interfacial entre la matriz polimérica y las nanoestructuras

de carbono juega un papel importante en las propiedades finales del nanocompuesto. La interface es donde tienen lugar las principales interacciones, que dictan el comportamiento y las propiedades finales de un compuesto. Las interacciones de nanopartículas con polímeros que se pueden observar van desde el simple contacto físico entre superficies, pasando por interacciones covalentes en las que interviene la formación de un enlace químico [7–12], así como interacciones no covalentes como los enlaces de hidrógeno y las fuerzas de interacción polares π – π . Este último tipo de interacción es de mayor relevancia, ya que además de promover fuertes interacciones entre ambas fases, permite preservar la estructura de las nanopartículas de carbono. Se ha demostrado a través de estudios teóricos que los grupos aromáticos pueden presentar interacciones no covalentes entre densidades de electrones π – π que también están presentes en nanoestructuras de carbono como el grafeno [13–17]. La modificación interfacial polímero-partícula representa una alternativa para aumentar las interacciones interfaciales, y en consecuencia las propiedades finales del compuestote [18–22]. En la mayoría de los nanocomuestos, el tipo de modificación y/o funcionalización de la nanopartícula seleccionada es función de la matriz polimérica en la que se van a incorporar. En este sentido, las poliolefinas, como el HDPE, es uno de los polímeros más utilizados en los estudios de nanocomuestos poliméricos. La mayoría de estos estudios se han enfocado en tratar de mejorar su desempeño mecánico y comportamiento termoeléctrico [23]. El HDPE, como la mayoría de las poliolefinas, es un polímero no polar sin grupos funcionales que le permitan establecer algún tipo de interacción con aditivos polares. De ahí la dificultad de lograr una buena dispersión de nanopartículas en este tipo de polímeros. Una opción implica la modificación química del HDPE con fracciones polares como el anhídrido maleico (MA), que es la fracción polar más común utilizada para modificar el HDPE, lo que da como resultado un PE injertado con MA (HDPE-g-MA).

En base a esto, en el presente trabajo se investigó el efecto de utilizar HDPE-g-MA previamente reaccionado con fenol para dar lugar al compatibilizante, se investigó la interacción de este HDPE modificado con fenol para favorecer las interacciones interfaciales entre HDPE y compuesto de grafeno. Se esperaba que la estructura aromática cíclica del fenol interactuaría con los grupos cíclicos del grafeno a través de las interacciones π – π . Con estas interacciones específicas, se mejorará la adhesión interfacial con la consiguiente mejor dispersión de nanopartículas y rendimiento de los nanocomuestos. La dispersión eficiente de partículas asegura un área de superficie de contacto más amplia y, por lo tanto, una mayor interacción entre la matriz polimérica y las partículas. El método de preparación de nanocomuestos tiene un efecto significativo en la dispersión y distribución de partículas [24], por lo que en el presente trabajo se estudiaron varios métodos de preparación para obtener nanocomuestos de HDPE/HDPE-g-MA-fenol/grafeno. Esto permitió seleccionar el mejor método para promover una buena dispersión y distribución de partículas en la matriz polimérica. La metodología seleccionada para preparar compuestos de HDPE/

grafeno utilizando HDPE-g-fenol como compatibilizante ofrece una nueva opción para mejorar el rendimiento final de estos compuestos para ser utilizados en materiales para diversas aplicaciones, como la industria automotriz, eléctrica y electrónica, industrial, construcción , construcción y otras aplicaciones de ingeniería. Las propiedades mecánicas de los compuestos de PE/grafeno suelen estar limitadas por las interacciones de interface de grafeno y PE. La incorporación de este compatibilizante HDPE-g-fenol es una buena opción para mejorar la adhesión interfacial para obtener compuestos con propiedades superiores para las aplicaciones de ingeniería descritas.

EXPERIMENTAL

Materiales

Se utilizó un polietileno de alta densidad (Padmex-65050) con un índice de fluidez de 5,0 g/10 min y una densidad de 0,965 g/cm³. HDPE funcionalizado con anhídrido maleico (HDPE-g-MA), Polybond 3009, se utilizó como compatibilizante. Este polímero maleado con 0,8–1,2 % de MA tiene una densidad de 0,95 g/cm³, un índice de fusión a 190 C de 5,0 g/10 min y un punto de fusión de 127 C.25 Un polvo de grafeno comercial, grado 3 , de Cheap Tubes, con un diámetro medio de 2 µm y un número medio de 12 capas. Sigma Aldrich proporcionó fenol con un 99,5% de pureza.

Procedimiento

Los seis métodos considerados para preparar los nanocomuestos s se pueden ver en la Tabla 1. Para que todos los compuestos generados sean comparables entre sí, todos tendrán el mismo contenido de fenol (P) y grafeno (G). Los nanocomuestos se prepararon con tres relaciones HDPE:HDPE-g-MA de 80/20, 85/15 y 90/10 con un contenido final de HDPE-g-MA de 20, 15 y 10% en peso, grafeno (G) de 1% en peso y fenol (P) de 1% en peso. Por ejemplo, el compuesto descrito como M1/HDPE/HDPE-g-MA-20/P-1/G-1 se preparó con el Método 1 descrito en la Tabla 1 con 78,4 % en peso de HDPE, 19,6 % en peso de HDPE-g -MA, 1% en peso de grafeno y 1% en peso de fenol como se describe en la Tabla 2.

Método de generación de nanocomuestos.	Vía de compatibilización	Tipo de mezclado para incorporar las nanopartículas en la matriz y obtener el nanocomuesto.
--	--------------------------	---

Método 1	Funcionalizando el grafeno con fenol en solución	Solution
Método 2	Funcionalizando el HDPEgAM con fenol en fundido	solución
Método 3	Funcionalizando el HDPEgAM con fenol en solución	Solución
Método 4	Funcionalizando el grafeno con fenol en solución	Fundido
Método 5	Funcionalizando el HDPEgAM con fenol en fundido	Fundido
Método 6	Funcionalizando el HDPEgAM con fenol en solución	Fundido

Tabla 4 Métodos para la generación de nanocomuestos.

Preparación de Nanocomuestos

Las muestras de referencia, sin relleno G, como HDPE: HDPEg-MA-20, HDPE/HDPEg-MA-15 y HDPE/HDPEg-MA-10, se prepararon con un microcompuesto Xplore MC15 a 170 C, 100 RPM durante 15 min de tiempo de mezcla. Se utilizó una relación de 100 ml de tolueno por cada gramo de grafeno, fenol, HDPE y HDPE-g-MA para los siguientes métodos:

Método 1: Para obtener el nanocomuesto con grafeno fraccionado con fenol en solución, primero se disolvieron previamente HDPE y HDPE-g-MA en tolueno a 110 °C y se mantuvieron en agitación a temperatura constante durante 1 h. En una segunda solución de tolueno, se incorporó grafeno y fenol en una proporción de 1:1 bajo radiación ultrasónica usando un equipo de ultrasonidos Misonix a 20 kHz y 750 W durante aproximadamente 15 min, para facilitar la dispersión del grafeno y aumentar el área superficial durante la funcionalización con fenol. Posteriormente, ambas soluciones se mezclaron inmediatamente, después de que la solución de grafeno modificado con fenol se retirara del ultrasonido. A esta nueva mezcla se le aplicó ultrasonido durante 15 min a temperatura constante (110 C) a 20 kHz con 750 W. Posteriormente, el compuesto se precipitó en acetona fría (0-5 C). El precipitado se filtró y se secó a temperatura ambiente (25 C) durante 12 h.

Clave de la mezcla	Método utilizado	%HDPE	%HDPEgAM	%Fenol	%Grafeno
Relación HDPE:HDPEgAM 80:20					
Ref/HDPEgAM-20	-	80	20	0	0
M1/HDPEgAM-20	1-6	78.4	19.6	1	1
Relación HDPE:HDPEgAM 85:15					
Ref/HDPEgAM-15	-	85	15	0	0
M1/HDPEgAM-15	1-6	83.3	14.7	1	1
Relación HDPE:HDPEgAM 90:10					
Ref/HDPEgAM-10	-	90	10	0	0
M1/HDPEgAM-10	1-6	88.2	9.8	1	1

Tabla 5 Porcentajes y componentes para las mezclas .

Método 2: Para obtener polietileno modificado con fenol (HDPE-gP) en la masa fundida, HDPE-g-MA y fenol (P) se mezclaron por fusión en la proporción deseada utilizando un micro mezclador Xplore a 170 C, 100 RPM durante 15 min. . Posteriormente, el HDPE-gP obtenido se disolvió con HDPE en la proporción deseada en tolueno a 110

C, continuando la agitación a temperatura constante durante 1 h. Una vez disueltos los materiales poliméricos en el tolueno, se añadió grafeno al sistema y se aplicó ultrasonido durante 15 min a temperatura constante (110 °C), con radiación de ultrasonido a 20 kHz y 750 W. Posteriormente se precipitó la nueva mezcla en frío. Acetona (0–5 °C). El material compuesto precipitado se filtró y se secó a temperatura ambiente (25 °C) durante la noche.

Método 3: Para obtener polietileno modificado con fenol (HDPE-gP) en solución, primero se disolvió HDPE-g-MA en tolueno a 110 C con agitación durante 1 h. Posteriormente se añadió fenol y se aplicó ultrasonido a 20 kHz con 750 W manteniendo la temperatura constante durante 15 min. En una segunda solución, se disolvió HDPE en tolueno a 110 C, con agitación durante 1 hora. Posteriormente, se mezclaron la primera y la segunda soluciones. Finalmente, se añadió grafeno y se aplicó ultrasonido a 20 kHz y 750 W durante 15 min a 110 °C. Posteriormente, la nueva mezcla se precipitó en acetona fría (0-5 °C). El material compuesto precipitado se filtró y se secó a temperatura ambiente (25 °C) durante la noche.

Método 4: Para obtener grafeno (G) funcionalizado con fenol en solución, se dispersó G con fenol en una solución de tolueno aplicando energía de ultrasonido a 20 kHz y 750 W durante 15 min. Posteriormente, se precipitó en acetona fría (0-5 °C). El precipitado se filtró en un filtro de vidrio sinterizado usando vacío y se secó en un horno de calentamiento a 100 °C. Los nanocomuestos de HDPE, HDPE-g-MA y grafeno funcionalizado con fenol se prepararon mezclando en estado fundido en una micro extrusor Xplore MC15 a 170 °C, 100 RPM y 15 min.

Método 5: Para obtener HDPE-gP en estado fundido, HDPE-g-MA se mezcló en estado fundido con fenol en un micro mezclador Xplore MC15 a 170 °C, 100 RPM y 15 min. Los nanocomuestos se prepararon mediante mezcla en estado fundido en una microextrusor Xplore MC15 a 170 °C, 100 RPM y 15 min.

Método 6: Para obtener HDPE-g-P, se disolvió HDPE-g-MA en tolueno a 110°C y se mantuvo en agitación y temperatura constante durante 1 h. Posteriormente, se añadió fenol a la solución y se aplicó ultrasonido a 20 kHz con 750 W durante 15 min. Luego, la mezcla se precipitó en acetona fría (0–5 °C). El precipitado se filtró y se secó a temperatura ambiente (25°C) durante 12 h. El nanocomuesto se preparó en un micro compuounder Xplore MC15 a 170°C, 100 RPM y 15 min.

CARACTERIZACIÓN

Se prepararon muestras de películas y láminas para su caracterización mediante moldeo por compresión a 180 C y 125 bar en una prensa hidráulica PHI-0230H-X4A. La espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) con técnica ATR se llevó a cabo en un equipo Nicolet-550. Los estudios de difracción de rayos X de gran angular (WAXD) se realizaron en un difractómetro de rayos X Siemens D-5000 equipado con un

generador de radiación CuKa con filtro de Ni, de 2 a 60. Las micrografías se tomaron mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) usando un microscopio electrónico de barrido, JEOLJCM6000 operado en modo SEI (Imagen Electrónica Secundaria), usando un voltaje de 15 kV. Se obtuvieron imágenes SEM para al menos tres especímenes de cada muestra. Los parámetros viscoelásticos se evaluaron en un analizador mecánico-dinámico (DMA) modelo Q800 de TA Instruments en el rango de temperatura de 30 a 130 °C con una velocidad de calentamiento y enfriamiento de 10 °C/min. Esta prueba se realizó al menos en tres especímenes de cada muestra. También se estudiaron las propiedades mecánicas de los compuestos según la norma ASTM D882 utilizando una máquina universal marca MTS criterio modelo 43. Para el ensayo se evaluaron al menos cinco especímenes por muestra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Espectroscopia FTIR

La Figura 1 muestra el espectro FTIR de las muestras de HDPE modificadas. La Figura 1a muestra el espectro HDPE-g-MA donde se puede observar la banda de absorción característica a 1711 y 1790 cm⁻¹ [26], la cual está asociada a los grupos carbonilo C=O del anhídrido maleico. Además, en el espectro HDPE-g-MA se pueden observar bandas a 2847 y 2914 cm⁻¹, lo que se puede atribuir a la vibración simétrica y asimétrica de los enlaces CH y CH₂ en HDPE. Las bandas a 1461 y 718 cm⁻¹ corresponden a los grupos alifáticos CH₂ en HDPE. La Figura 1b,c muestra el espectro del agente compatibilizante (HDPE-g-Fenol) obtenido de la reacción entre HDPE-g-MA con mezcla de fenol en solución (Figura 1b) o por mezcla en estado fundido (Figura 1c). En estos espectros se observó la banda de absorción a 1723 y 1595 cm que podría estar asociada a una funcionalidad éster posiblemente generada en la reacción entre el fenol y el anhídrido maléico durante la mezcla.^{27,28} También se puede observar un amplio hombro de absorción entre 3000 y 3500 cm⁻¹ en ambos espectros, que no están presentes en la muestra de HDPE-g-MA sin modificar y pueden estar asociados con los grupos hidroxilo del fenol y los grupos carboxilo formados después de la reacción de esterificación en muestras modificadas [24].

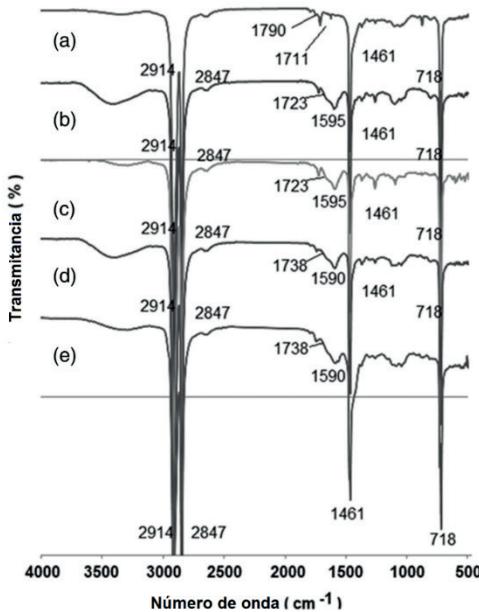


Figura 1. Espectros FTIR de a) HDPEgAM, b) HDPEg-s funcionalizado in solution, (c) HDPEgF-f, d) M1/HDPEgAM15 y e) M4/HDPEgAM15.

La figura 1d,e muestra el espectro de compuestos: M1: HDPE-g-MA-15 y M4:HDPE-g-MA-15. Estos compuestos se formularon utilizando fenol modificado con grafeno. En estos espectros se observaron bandas de absorción a 1738 y 1590 cm, lo que puede estar asociado a una función éster posiblemente generada en la reacción entre fenol y anhídrido maleico durante el mezclado, otros autores que estudiaron la reacción de esterificación con MA en muestras de polímeros han reportado similares resultados.²⁹⁻³¹ Además, también se puede observar en ambos espectros un amplio hombro de absorción entre 3000 y 3500 cm, que no está presente en la muestra de HDPE-g-MA sin modificar y puede estar asociado con los grupos hidroxilo de fenol y los grupos formados durante esta reacción de esterificación.

La posible reacción entre MA en HDPE-g-MA con fenol se muestra en la Figura 2. Esta posible reacción podría estar ocurriendo entre MA y grupos fenol, ya sea a partir de grafeno funcionalizado con fenol (GP-s) o con la funcionalización previa de HDPE- g-MA con fenol (HDPE-gP) en estado fundido o en solución.

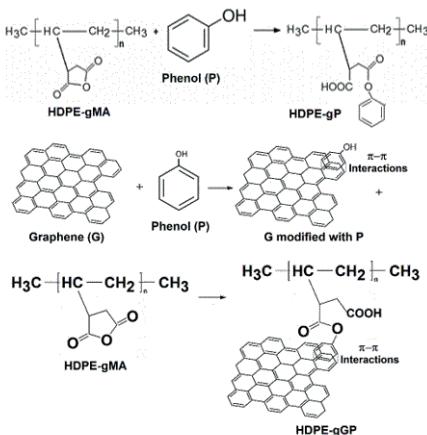


Figura 2. La posible reacción entre el HDPE-g-MA con el fenol.

Propiedades Mecánicas

Young para los materiales de referencia y los compuestos en varias proporciones de HDPE/HDPE-g-MA. Se puede ver en esta figura, que la inclusión de HDPE-g-MA indujo a un módulo elástico mucho más bajo que el HDPE prístino, y como consecuencia, el módulo para las muestras de HDPE/HDPE-g-MA-20, HDPE/HDPE-g-MA-15 y HDPE/HDPE-g-MA-10 se encuentra entre las muestras de HDPE-g-MA y las de HDPE prístinas. .

Se puede observar que las muestras con grafeno (G) y fenol (P) preparadas por los distintos métodos descritos con HDPE:HDPE-g-MA en proporciones de 80:20 y 85:15 mostraron un comportamiento mecánico superior al de los materiales de referencia. Esto posiblemente se deba a la mejor interacción entre la matriz polimérica y las nanopartículas de grafeno promovidas gracias a los agentes de acoplamiento, como se describe en la Figura 2. Las muestras con relación HDPE:HDPE-g-MA en 90:10 no mostraron un aumento significativo. En módulo elástico, posiblemente debido al hecho de que la cantidad del agente de acoplamiento, HDPE-g-MA, no fue suficiente para promover suficientes interacciones entre las partículas de grafeno y la matriz polimérica.

Comparando los diversos métodos de preparación, se puede observar que las muestras de S-HDPE/HDPE-g-MA/GP-s con HDPE-g-MA al 15 y 20% en peso, ambas preparadas por el Método de solución-1, con HDPE: HDPE -g-MA a la relación 85:15 obtuvo un módulo más alto que la relación 80:20. Se observó un comportamiento similar para S-HDPE/HDPE-gP-m, con HDPE-g-MA al 15 y 20% en peso, ambos formulados por el Método de solución-2. Se puede observar que todas las muestras en la relación HDPE:HDPE-g-MA 85:15 obtuvieron un módulo más alto en comparación con sus equivalentes en la relación 80:20. Esto posiblemente se puede atribuir a un contenido excesivo de HDPE-g-MA que podría estar reduciendo el módulo de almacenamiento, ya que la inclusión de HDPE-g-MA mostró una reducción en el módulo en comparación con el HDPE. Este mayor contenido

de HDPE-g-MA también favorece las interacciones interfaciales y promueve una mejor dispersión de las partículas de grafeno, que refuerzan mejor el composite, haciéndolo más rígido y de mayor módulo. Este hecho podría hacer parecer que el módulo no se redujo por el exceso de HDPE-g-AM en los métodos 1, 4 y 6.

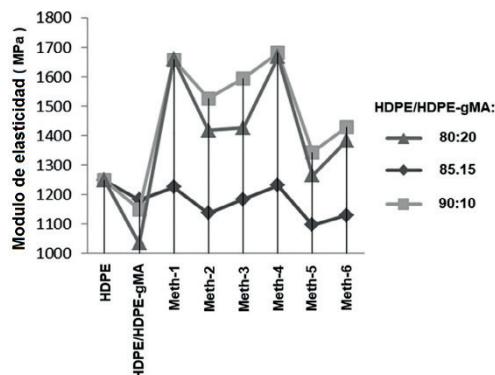


Figura 3. Módulo de elasticidad promedio para los materiales estudiados en la primera etapa.

Esta figura también muestra que las muestras S-HDPE/HDPEg-MA/GP-s y M-HDPE/HDPE-g-MA/GP-s generadas por los métodos 1 y 4 con HDPE: HDPE-g-MA 85:15 y 80 Las relaciones :20 mostraron el módulo elástico más alto de todas las muestras compuestas. Los métodos 1 y 4 tienen en común la funcionalización del grafeno en solución y difieren en el método de mezcla final que usa la mezcla en solución en el Método 1 y la mezcla en estado fundido en el Método 4. El mayor módulo obtenido por estos métodos indica una posible mejor dispersión del grafeno funcionalizado promovido. por el uso de ultrasonidos durante la funcionalización del grafeno con fenol. También indica una mejor interacción entre las nano capas de grafeno y la matriz polimérica promovida por los restos de fenol depositados en las nanocapas de grafeno que actúan como compatibilizante o agente de acoplamiento. Se espera que la radiación ultrasónica exfolie las láminas de grafeno²⁴, lo que aumenta el área de superficie donde se pueden depositar los grupos funcionales de fenol. Además, se supone que utilizando este método de modificación con grafeno se promoverá una mayor interacción entre el grafeno y el fenol y la matriz polimérica. Además, la deposición de fenol sobre las láminas de grafeno evita que se vuelvan a aglomerar de forma similar a la obstrucción que generan los óxidos de grafito; en el que el oxígeno adherido a las láminas de carbón promueve un espacio interlaminar mayor que el del grafito no oxidado.

Esto, con la ventaja adicional y valiosa de que la deposición de fenol sobre las láminas de grafeno no afecta la estructura del grafeno, como suele ocurrir con la oxidación.^{14,15} El módulo más bajo lo presentó S-HDPE/HDPE-gP-m y Muestras de M-HDPE/HDPEg-m preparadas por los Métodos 2 y 5, atribuidas a la menor adhesión y/o interacción interfacial

entre el grafeno y la matriz polimérica de estos compuestos. Estas muestras preparadas por los Métodos 2 y 5 tienen en común la funcionalización por fusión de HDPE-g-MA con fenol. Además, considerando que el punto de ebullición del fenol es de 182°C, el proceso de mezcla se realizó a 170°C, por lo que se supone que se pudo haber perdido algo de fenol por evaporación durante la mezcla. Esto dejaría menos fenol disponible para interactuar con el grafeno y promover la adhesión interfacial. Otro factor es que las láminas de grafeno no se exfoliaron previamente y estaban menos dispersas en los compuestos preparados por estos métodos. Esto, en comparación con las muestras compuestas preparadas por los Métodos 3 y 6, en las que la modificación de HDPE-g-MA con fenol se realizó en solución. En los Métodos 3 y 6, se utilizaron 110 °C durante el proceso de funcionalización, por lo que la pérdida de fenol por evaporación es muy poco probable. La falta de una pre-exfoliación de grafeno antes de la mezcla también podría estar influyendo en estos resultados, presentando módulos no tan altos como los de las muestras preparadas por los Métodos 1 y 4 en las que hubo una exfoliación de grafeno previa durante el procedimiento de funcionalización.

El módulo de Young más alto obtenido para muestras compuestas preparadas por los Métodos 1 y 4 (1675 y 1698 MPa) es entre un 33 % y un 35 % más alto que el HDPE prístino (1258 MPa). Este aumento en el módulo de Young se encuentra entre los reportados en la literatura para compuestos similares de HDPE/grafeno [32–38]. Este aumento en el módulo es con respecto al módulo del polímero prístino. Dado que el módulo de HDPE utilizado es relativamente alto (1258 MPa), indica que los resultados obtenidos en las propiedades mecánicas aumentan significativamente con este tipo de materiales compuestos.

En cuanto al módulo elástico y SD, se puede observar en la Figura 4 que las muestras obtenidas por los Métodos 2 y 5 presentaron los valores más altos de SD, lo que se atribuyó a la mala distribución del relleno con más aglomerados que las muestras obtenidas por los otros métodos. Las partículas G pequeñas por lo general pueden moverse más fácilmente y, por lo tanto, se distribuyen más fácilmente en la matriz polimérica. Por otro lado, si G forma grandes apilamientos de partículas en los compuestos obtenidos por estos métodos, es posible que estas no se distribuyan uniformemente con poca dispersión y aglomerados de partículas más grandes que pueden ser imperfecciones o puntos de propagación de fracturas. Los métodos 1 y 4 presentaron la SD más baja, posiblemente atribuida a una distribución de relleno más uniforme que las muestras preparadas por los otros métodos. Se espera que en estas muestras compuestas se presente un tamaño menor en los aglomerados G.

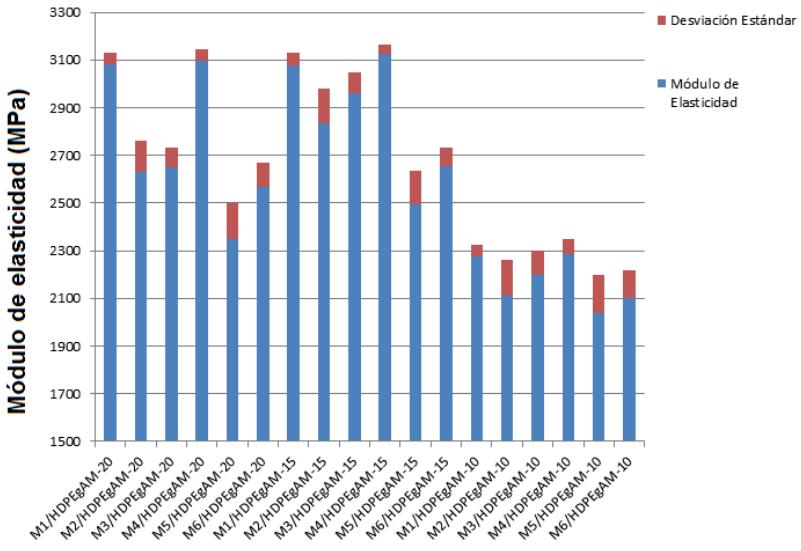


Figura 4. Módulo de elasticidad promedio y desviación estándar para los materiales estudiado.

La resistencia a la tracción se puede relacionar con la rigidez del material y la adhesión interfacial entre el relleno y la matriz polimérica [38]. La Figura 5 muestra la resistencia a la tracción obtenida para las muestras compuestas y de referencia. Los compuestos obtenidos por los Métodos 1 y 4, con relaciones HDPE:HDPEg-MA 85:15 y 80:20, obtuvieron la resistencia a la tracción más alta de todas las muestras compuestas. Esto, como ya se mencionó, indica una posible mejor dispersión del relleno de G funcionalizado, lo que fue promovido por el uso de ultrasonido durante la funcionalización de G con fenol. Esto también promovió una mejor interacción entre el G y la matriz polimérica gracias a los restos fenólicos depositados sobre las láminas de G como agente de acoplamiento, lo cual se describió en la Figura 3. Todo esto se refleja en una mayor resistencia a la tracción y por ende en una mayor adherencia interfacial.

La resistencia a la tracción más baja fue para las muestras compuestas obtenidas por los Métodos 2 y 5, lo que concuerda con los resultados obtenidos del módulo de Young. Esto, una vez más, puede sugerir que estas muestras tendrán una mala dispersión del relleno, además de una menor adhesión interfacial entre G y la matriz polimérica.

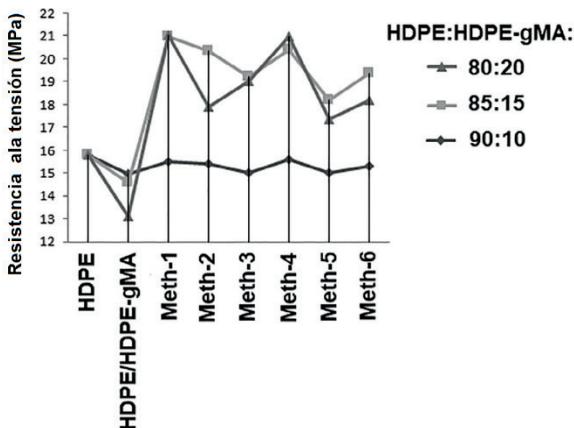


Figura 5. Resistencia máxima a la tensión para los materiales estudiados.

Las muestras compuestas que mostraron la mayor resistencia a la tracción máxima (20-21 MPa) presentaron una mejora del 26%-33% con respecto a la resistencia a la tracción del HDPE puro (15,8 MPa). De acuerdo con los resultados reportados en la literatura para compuestos similares de HDPE/grafeno, los resultados obtenidos en resistencia a la tracción son similares e incluso superiores a los valores informados para este tipo de compuestos [36-39].

La figura 6 muestra el alargamiento a la rotura (% EB) obtenido para las muestras compuestas y de referencia. Los compuestos obtenidos por los Métodos 1 y 4, con HDPE:HDPE-g-MA en proporciones de 85:15 y 80:20, obtuvieron los valores de deformación más bajos de todas las muestras compuestas. Esto, como ya se mencionó, indica una posible mejor dispersión del relleno G funcionalizado y una mejor interacción entre G y la matriz polimérica gracias al fenol depositado en las láminas de grafeno que está actuando como agente de acoplamiento. Todo ello se refleja en un mayor módulo de Young y por tanto en una menor deformación o alargamiento a rotura. La mayor deformación fue para las muestras obtenidas por los Métodos 2 y 5, lo que concuerda con los resultados obtenidos del módulo de Young.

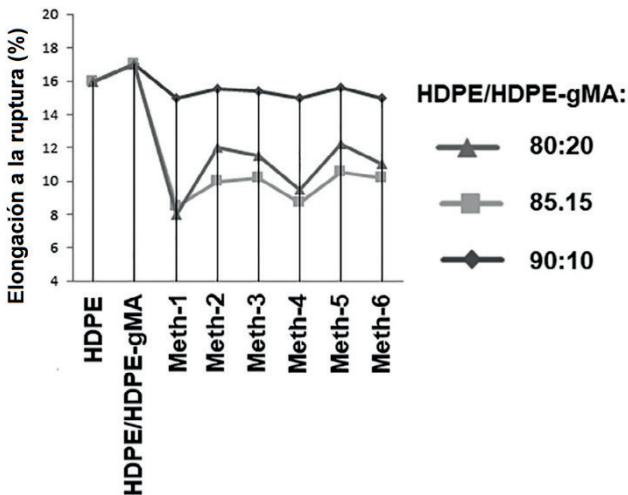


Figura 6. Porcentajes de elongación a la ruptura para los compuestos y los materiales de referencia.

Esto, una vez más, puede sugerir que estas muestras tendrán una mala dispersión del relleno, así como una menor adhesión interfacial entre G y la matriz polimérica. Los composites con una relación HDPE:HDPE-g-MA de 90:10 obtuvieron los mayores valores de elongación, lo que indica que su rigidez fue menor que aquellos con mayor contenido de HDPE-g-MA. Esto concuerda con los resultados obtenidos para los módulos de Young y la resistencia a la tracción.

Microscopía Electrónica de Barrido

La figura 7 muestra imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) de algunos de los compuestos de la serie HDPE:HDPE-g-MA 85:15, en las que se puede analizar la dispersión de G en los compuestos. Las micrografías obtenidas para los compuestos obtenidos por los Métodos 1 y 4 se muestran en la Figura 10a,c. Se puede observar en estas figuras, laminillas G individuales, lo que indica que los compuestos obtenidos por los Métodos 1 y 4 tienen una mejor dispersión G en comparación con los compuestos obtenidos por los Métodos 2 y 5 que se muestran en la Figura 7 b,d. Estos resultados se deben por un lado al uso de ultrasonidos durante la modificación del grafeno con fenol en los Métodos 1 y 4, que ayuda a dispersar las partículas durante la modificación. Esto también se debe a la afinidad con el HDPE-g-MA gracias al recubrimiento del grafeno con fenol, que permite una buena interacción de fases, evitando que las láminas de grafeno se reaglomeren durante la mezcla con la matriz polimérica.

Los compuestos preparados por los Métodos 1, 2 y 4 muestran distribuciones de partículas G similares y el compuesto obtenido por el Método 5 exhibe una distribución menos uniforme con áreas notables de aglomerados de grafeno. Esto indica que este método (Método 5) no favoreció la distribución del grafeno en el compuesto.

El compuesto obtenido por el Método 4 implica el mismo procedimiento de mezclado final del compuesto (en la masa fundida) que el compuesto preparado por el Método 5 y, como puede verse en esta figura, el Método 4 muestra una buena distribución de partículas en comparación con el Método 5. Esto podría atribuirse a los aglomerados de grafeno más pequeños generados por el Método 4, que pueden moverse y distribuirse más fácilmente en la matriz polimérica. Esto gracias al procedimiento de modificación de grafeno, que implica el uso de ultrasonido para promover la dispersión de G y la deposición de fenol en las láminas de G, lo que generó pilas de grafeno más pequeñas.

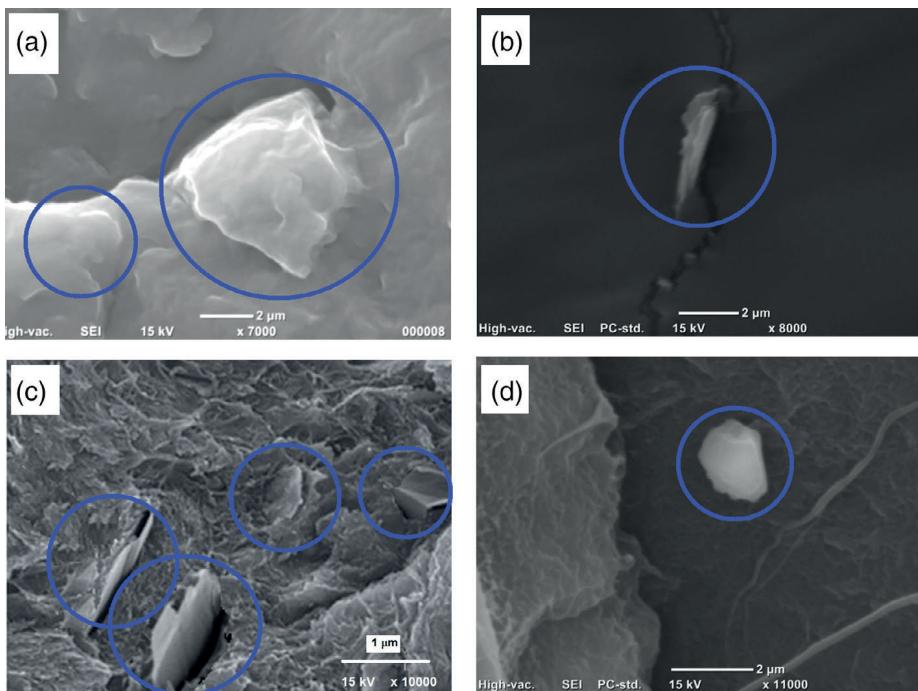


Figura 7 Micrografías SEM de los compuestos de la serie HDPE:HDPEgAM 85:15 formulados por:(a) Método 1, (b) Método 2, (c) Método 4, (d) Método 5.

Todos los resultados anteriores están de acuerdo con las determinaciones de resistencia a la tracción obtenidas y con los resultados de DMA. Estos resultados indicaron que los compuestos obtenidos por los Métodos 1 y 4 tienen una mejor distribución y dispersión de G, ya que mostraron mayor módulo elástico o de almacenamiento que el resto de las muestras compuestas. También mostraron una buena interacción de fase gracias a las fuerzas intermoleculares entre la matriz y el grafeno inducidas por los agentes de acoplamiento.

Dado que el tolueno puede producir modificaciones indeseables en las láminas de grafeno, como defectos y cambios en su estructura, si G se expone a él por más de 1 h.

Considerando esto, todos los procedimientos para la eliminación del tolueno se realizaron en el menor tiempo posible. Según la información proporcionada por el proveedor, las partículas de grafeno tienen un diámetro promedio de $2\text{ }\mu\text{m}$, lo que concuerda con los tamaños promedio observados en las imágenes SEM. Esto descarta la posibilidad de que G haya sufrido modificaciones indeseables al ser solubilizado en tolueno durante su funcionalización. En cuanto a la orientación de las partículas G, no se observó una tendencia de orientación, lo que indica que estas muestras son materiales anisotrópicos.

Se realizaron difractogramas de rayos X en HDPE y en todas las muestras compuestas de HDPE:HDPE-g-MA 85:15 para analizar su estructura y la exfoliación de grafeno en los compuestos. En la Figura 8, se observa que el HDPE muestra picos notables en ángulos de difracción de 2θ de 22° , 24° y 29° , relacionados con los planos de difracción [110], [210] y [020]. La Figura 11b–g muestra los difractogramas de los compuestos de HDPE:HDPE-g-MA 85:15. En esta figura se puede ver, además de los ángulos de difracción de 2θ informados anteriormente, un pico de difracción más a 23° relacionado con el plano [200]. Esto puede indicar que la adición de grafeno y fenol al HDPE podría estar induciendo una ligera modificación en la estructura cristalográfica del polímero.

Según la literatura [24] y la caracterización de las materias primas, el grafeno presenta un pico de difracción a 12° , típico de algunos aglomerados laminares de materiales carbonosos. Se puede observar que en compuestos preparados por los Métodos 2 y 5 (Figura 8c,f), la señal característica en 12 (indicada en un círculo) todavía es visible. Esto indica que en estos composites las partículas G no estaban completamente exfoliadas. Los difractogramas de los otros composites no presentan esta señal de pico, lo que indica que el grafeno se dispersó correctamente.

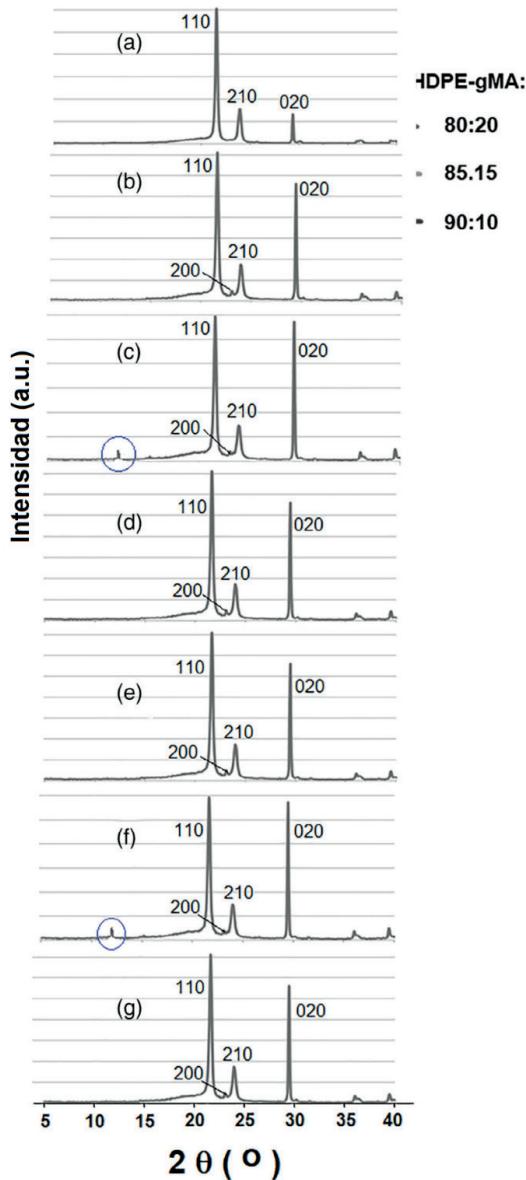


Figure 8. Difractogramas de rayos X de (a) compuestos de polietileno de alta densidad (HDPE) y HDPE:polietileno maleado (HDPE-g-MA) en una proporción de 85:15 preparados por el método: (b) 1, (c) 2, (d) 3, (e) 4, (f) 5 y (g) 6.

CONCLUSIONES

Fue posible obtener un agente de acoplamiento a partir de la reacción de polietileno maleado (HDPE-g-MA) con fenol. Se concluyó que la adición de este agente de acoplamiento tuvo un efecto positivo en la dispersión y distribución del grafeno en los compuestos con HDPE:HDPE-g-MA en proporciones de 80:20 y 85:15. Se obtuvo evidencia

de buena dispersión mediante caracterizaciones SEM y WAXD. La adición de agente de acoplamiento también promovió una mejora en la rigidez de estos materiales, presentando mayor módulo de almacenamiento y estabilidad dimensional a altas temperaturas según las determinaciones de DMA y tan delta. Estos resultados se atribuyeron a una buena adherencia interfacial entre el grafeno y la matriz polimérica influenciada por el agente de acoplamiento. Todos los composites presentan módulo de almacenamiento superior a los materiales de referencia a excepción de aquellos con HDPE:HDPE-g-MA a 90:10. Finalmente, se concluyó que los composites con mejor balance en sus propiedades fueron los generados por los Métodos 1 y 4, en los cuales se funcionalizó grafeno con fenol en solución, utilizando un HDPE:HDPE-g-MA a 85:15 y 80: 20 proporciones.

AGRADECIMIENTOS

Author, G. Pozos-Sanchez thanks CONACYT for granting his scholarship to carry out his M.Sc. studies at CIQA. Also, the authors gratefully acknowledge the financial support of Conacyt through Project Conacyt-317097 and Fordecyt-292399. Authors wish to thank National Laboratory of Graphene (Conacyt-232753), LANIAUTO (Conacyt-294030) and Conacyt-31735 for the facilities support. The authors would like to thank: A. Ochoa-Cordoba, J.A. Mercado-Silva, Alejandro-Espinoza, M. Lozano, J. Rodriguez, Gpe. Telles, V. Comparan, Jesus Lara, Seyma de Leon, R. Rangel Ramirez , Irma Oralia Solis, Gpe. Mendez, M.L. Guillen, J. Rodriguez, J. Lopez-Rivera, M. Palacios-Mesta, R. Cedillo, S. Zertuche, M.I. Solis-dePeña, J.A. Cepeda, S. A. de Leon, M. I. Ulloa, E. Alvidrez, J. J. Campos, L.E. Reyes, Hugo-Jiménez and D. Alvarado por su asistencia técnica.

REFERENCIAS

1. J. R. Potts, D. R. Dreyer, C. W. Bielawski, R. S. Ruoff, Polymer 2011, 52, 5.
2. Y. Yao, S. Jin, X. Ma, R. Yu, H. Zou, H. Wang, X. Lv, Q. Shu, Compos. Sci. Technol. 2020, 200, 108457.
3. H. Tang, G. J. Ehlert, Y. Lin, H. A. Sodano, Nano Lett. 2012, 12, 84.
4. K. P. Swapan, E. Toshiaki, C. N. R. Rao, Graphene and Its Fascinating Attributes, World Scientific Pub Co Inc., New Jersey 2011.
5. Q. Wang, L. Cheng, J. Wang, Z. Qian, T. Wei, W. Guo, Adv. Eng. Mater. 2018, 21, 1800609.
6. R. Silva-Leyton, R. Quijada, R. Bastías, N. Zamora, F. Olate-Moya, H. Palza, Compos. Sci. Technol. 2019, 184, 107888.
7. M. Dehnert, E. C. Spitzner, F. Beckert, C. Friedrich, R. Magerle, Macromolecules 2016, 49, 7415.

8. L. Ma, X. Yanga, L. Gao, M. Lu, C. Guo, Y. Li, Y. Tu, X. Zhu, *Carbon* 2013, 53, 269.
9. Z. S. Pour, M. Ghaemy, *Compos. Sci. Technol.* 2016, 136, 145.
10. R. K. Layek, A. K. Nandi, *Polymer* 2013, 4, 5087.
11. H. R. Thomas, D. J. Phillips, N. R. Wilson, M. I. Gibson, J. Rourke, *Polym. Chem.* 2015, 6, 8270.
12. M. Fang, K. Wang, H. Lu, Y. Yang, S. Nuttet, *J. Mater. Chem.* 2010, 20, 1982.
13. A. Rochefort, J. D. Wuest, *Langmuir* 2009, 25, 210.
14. J. Wang, Z. Chen, B. Chen, *Environ. Sci. Technol.* 2014, 48, 4817.
15. P. Zygouri, G. Potsi, E. Mouzourakis, K. Spyrou, D. Gournis, P. Rudolfe, *Curr. Org. Chem.* 2015, 19, 1791.
16. G. Chen, P. M. Wright, J. Geng, G. Mantovania, D. M. Haddleton, *Chem. Commun.* 2008, 9, 1097.
17. S. H. Park, S. H. Jin, G. H. Jun, S. Jeon, S. H. Hong, *Nano Res.* 2011, 4, 1129.
18. L. Bogani, C. Danieli, E. Blabardi, N. Bendjab, A. L. Barra, E. Dalcanale, W. Wernsdorfer, A. Corina, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2009, 48, 746.
19. S. Ran, Z. Guo, L. Han, Z. Fang, *Polym. Int.* 2014, 63, 1835.
20. K. T. Kim, W. H. Jo, *J. Polym. Sci. A* 2010, 48, 4184.
21. A. Mohyeddin, M. P. Leal, I. Fernandez, P. R. Gomez, R. Baati, N. Khiar, *Nano Res.* 2010, 3, 764.
22. T. K. Kim, W. H. Jo, *Carbon* 2011, 49, 819.
23. E. Lokengard, *Industrial Plastics: Theory and Applications*, 6th ed., Vol. 440, Cengage Learning, Boston, MA 2016.
24. S. Sanchez-Valdes, A. G. Zapata-Dominguez, J. G. Martinez, J. Mendez, L. F. Ramos, A. B. Espinoza, A. Morales, T. Lozano, P. G. Lafleur, E. Ramirez, *Polym. Compos.* 2018, 39, 1361.
25. L. F. Rocha, S. B. Cordeiro, L. C. Ferreira, F. J. Ramos, M. F. Marques, *Mater. Sci. Appl.* 2016, 7, 863.
26. S. Sanchez-Valdes, E. Ramírez-Vargas, M. C. Ibarra-Alonso, L. F. Ramos de Valle, J. Méndez-Nonell, F. J. Medellín-Rodríguez, J. G. Martínez-Colunga, S. Vazquez-Rodriguez, R. Betancourt-Galindo, *Compos. Part B Eng.* 2012, 43, 497.
27. M. C. Ibarra, S. Sanchez-Valdes, E. Ramírez-Vargas, S. Fernandez, J. Romero, A. S. Ledezma, L. F. Ramos, O. S. Rodriguez, A. B. Espinoza, J. G. Martinez, E. N. Cabrera, *J. Adhes. Sci. Technol.* 2015, 29, 1911.

28. S. Sanchez-Valdes, J. Méndez-Nonell, F. J. Medellín, E. Ramírez, J. G. Martínez, L. F. Ramos, M. Modragon, M. L. Quintanilla, M. L Garcia, *Polym. Int.* 2010, 59, 704.
29. A. Saini, C. Yadav, M. Bera, P. Gupta, P. K. Maji, *J. Appl. Polym. Sci.* 2017, 134, 45167.
30. M. Kazayawoko, J. J. Balatinecz, R. T. Woodhams, *J. Appl. Polym. Sci.* 1997, 66, 1163.
31. M. Sclavons, P. Franquinet, V. Carlier, G. Verfaillie, I. Fallais, R. Legras, F. C. Thyrion, *Polymer* 2000, 41, 1989.
32. Z. Guo, S. Ran, Z. Fang, *Compos. Sci. Technol.* 2013, 86, 157.
33. S. Lin, M. A. S. Anwer, Y. Zhou, A. Sinha, L. Carson, H. E. Naguib, *Compos. Part B* 2018, 132, 61.
34. A. J. Bourque, C. R. Locker, A. H. Tsou, M. Vadlamudi, *Polymer* 2016, 99, 263.
35. A. Chaudhry, V. Mittal, *Polym. Eng. Sci.* 2013, 53, 78.
36. A. Bhattacharyya, S. Chen, M. Zhu, *Exp. Polym. Lett.* 2014, 8, 74.
37. R. Upadhyay, S. Naskar, N. Bhaskar, S. Bose, B. Basu, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2016, 8, 11954.
38. C. L. Nogueira, J. M. F. de Paiva, M. C. Rezende, *Mater. Res.* 2005, 8, 81.
39. H. Pinto, A. Markevich, *J. Nanotechnol.* 2014, 5, 1842.
40. P. K. Sandhya, M. S. Sreekala, G. Xian, M. Padmanabhan, N. Kalarikkal, S. Thomas, *J. Appl. Polym. Sci.* 2020, 137, 40.
41. V. Mittal, A. U. J. Chaudhry, *Appl. Polym. Sci.* 2015, 132, 42484.

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA: Técnico en Química por el Colegio Profesional de Uberlândia (2008), Licenciado en Química por la Universidad Federal de Uberlândia (2010), Licenciado en Química (2011) y Licenciado en Química Industrial (2023) por la Universidad de Uberaba, em Ciencias Biológicas (2021) y en Física (2022) por la Faculdade Única. Especialista em Metodología de Enseñanza de Química y Enseñanza Superior por la Faculdade JK Serrana de Brasilia (2012), especialista em Enseñanza de Ciencias y Matemáticas por el Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021), especialista em Ciencias Naturales y Mercado Laboral (2022) por la Universidad Federal de Piauí (UFPI). Maestría en Química por la Universidad Federal de Uberlândia (2015), com énfasis em el desarrollo de unbio adsorbente para la remoción de iones As(V), Sb(III) y Se(IV) en diferentes matrices acuáticas. Doctorado en Química por la Universidad Federal de Uberlândia (2018), com énfasis em Procesos Oxidativos Avanzados [fotocatálisis heterogénea ($TiO_2/UV-A$ y $TiO_2/Solar$, $H_2O_2/UV-C$) para la remoción de contaminantes de preocupación emergente (CPE) en diferentes matrices acuáticas. Realizó la primera pasantía pos doctoral (de mayo de 2020 a abril de 2022) y está cursando la segunda pasantía (2022-actual) em la Universidad Federal de Uberlândia com énfasis em la aplicación de nuevos agentes oxidantes utilizando radiación solar para remover CPE en efluentes de una red de alcantarillado planta de tratamiento. Actualmente es químico y técnico responsable de los laboratorios de Unicesumar/Polo Patrocínio y actúa em las siguientes líneas de investigación: (i) Desarrollo de nuevas metodologías para el tratamiento y valorización de residuos químicos generados em laboratorios de instituciones de enseñanza e investigación; (ii) estudios de seguimiento de CPE; (iii) Desarrollo de nuevas tecnologías avanzadas para la remoción de CPE en diferentes matrices acuáticas; (iv) Aplicación de procesos oxidativos avanzados ($H_2O_2/UV\ C$, $TiO_2/UV-A$ y foto-Fenton y otros) para remover CPE en efluentes de la planta de tratamiento de efluentes para su reutilización; (v) Estudio y desarrollo de nuevos biosorbentes para la remediación ambiental de CPE en diferentes matrices acuáticas; (vi) Educación Ambiental y; (vii) alfabetización científica y procesos de alfabetización em el área de las ciencias naturales, especialmente biología y química.

A

- Algoritmos 42, 49, 52
Alumno integral 22
Análisis Mecánico Dinámico (DMA) 126
Análisis Termogravimétrico (TGA) 89, 95, 113
Aprendizaje significativo 1, 2, 12, 13, 40
Áreas naturales protegidas 71
Atmospheric opacity 62
Atmospheric water vapor 60, 61

B

- Biodiversidad 70, 71, 76, 77
Bosque Tropical Seco (bs-T) 69, 71, 75, 77

C

- Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) 89, 91
Capacidad de Intercambio Iónico (IEC) 89, 91
Cápsula educativa 2
Características ignífugas 108, 109, 111, 122
Celdas solares 90
Ciencias básicas 13, 14, 23, 60
Clases virtuales 29, 32, 35, 36, 37, 38, 40
Combustión horizontal 108, 114
Competencia genérica 22, 23, 24, 25
Compuestos sostenibles 108, 109
Comunicación oral y escrita 22, 24, 25
Conductividad iónica 89, 100, 102, 103
Copolímero 88, 89, 90, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 102, 103, 108, 110, 111

D

- Desafíos ambientales 70
Difracción de Rayos X de Gran Angular (WAXD) 147

E

- Ecoturismo 69, 70, 75, 76, 77, 78
Educación ambiental 69, 70, 76, 77, 146

- El Salitre 69, 70, 71, 73, 76, 77
Enseñanza-aprendizaje 1, 2, 27, 28, 29, 34, 38
Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS) 89
Espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear 1H (RMN 1H) 148
Estabilidad térmica 95, 108, 148
Estireno-vinil tetrazol (StVTz) 88, 93
- F**
- Fenol 126, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143
Flora 69, 70, 71, 72, 73, 75, 77
Fluorescencia 79, 80, 81, 82, 84, 85, 86
Fotones 79, 80
- G**
- Grafeno 126, 127, 129, 130, 131, 133, 135, 136, 138, 139, 140, 141, 142, 143
- H**
- Herramienta 2, 6, 14, 21, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 40, 70, 78
Huella dactilar 42, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 52
- I**
- Identificación biométrico 42
Imagen digital 42, 49, 51
Infrared wavelength 60
Infrarrojos Transformados de Fourier (FTIR) 148
Ingeniería civil 13, 14, 22, 24
- L**
- Laser 79, 81, 82, 85, 86, 87
- M**
- Maple 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21
Matriz polimérica 110, 122, 126, 127, 128, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 143
Medio ambiente 59, 69, 70, 71, 73, 76, 78, 108, 109, 110, 111
Mexico 60, 61, 62, 63, 65, 88
Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) 89, 93, 103
Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) 113, 126, 132, 139

- Minucias 42, 47, 48, 49, 50, 52
Mitigación 54
Modelo educativo 13, 22, 26
Modelos matemáticos 23
Muestra 32, 34, 45, 46, 48, 50, 79, 82, 91, 92, 96, 97, 98, 99, 102, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 121, 132, 133, 135, 137, 138, 139, 140, 141

N

- Nanocomuestos poliméricos 127, 128
Nanoestructuras 127, 128
Nanopartículas 110, 127, 128, 134

P

- Parámetros viscoelásticos 132
Peligro 54, 55, 56, 59, 69, 73, 77, 78
Pilas de combustible 89
Plataformas virtuales 28, 55
Polietileno de Alta Densidad (HDPE) 126, 129, 142
Poli ácido láctico (PLA) 149
Poliolefinas 128
Precipitable Water Vapor (PWV) 60, 61, 63, 66
Prevención 54, 55
Punto de ebullición 136

R

- Radiación electromagnética 79, 80
Recursos digitales 2
Reflectancia 79, 80, 81, 82, 84, 85, 91
Residuos sólidos 54, 59
Retardantes de flama (FR) 108
Riesgos 54, 55, 59, 110

S

- Software* 13, 14, 21, 55, 91, 93

T

- Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) 2
Tejidos biológicos 79, 80, 81, 85

ÍNDICE ALFABÉTICO

U

Universidad Católica de Temuco 13, 14, 22, 26

V

Vegetación arbórea 69, 71

Y

Youtube 2, 5, 12, 27, 28, 29, 31, 39

Z

Zoom 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41

Ciencias exactas y de la tierra: teorías y principios


Atena
Editora
Ano 2023

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

Ciencias exactas y de la tierra: teorías y principios

 Atena
Editora
Ano 2023

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