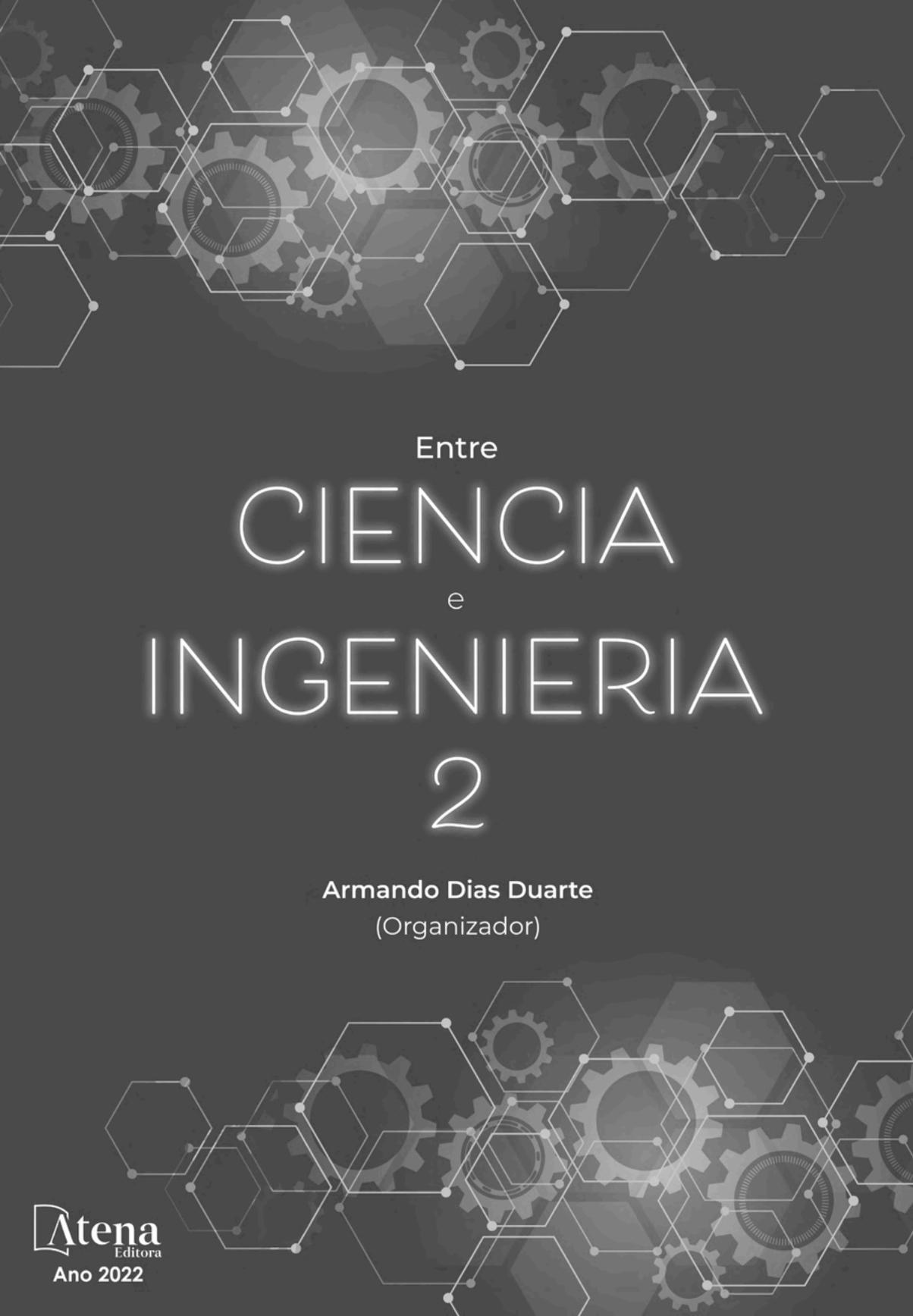
The background of the cover is a vibrant blue gradient. It is decorated with a complex pattern of glowing green and cyan lines forming hexagons and interconnected gears. The gears are of various sizes and are scattered across the top and bottom of the page, creating a sense of mechanical precision and technological advancement.

Entre  
CIENCIA  
e  
INGENIERIA  
2

**Armando Dias Duarte**  
(Organizador)



Entre  
CIENCIA  
e  
INGENIERIA  
2

Armando Dias Duarte  
(Organizador)

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



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



**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Armando Dias Duarte

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E61 Entre ciencia e ingenieria 2 / Organizador Armando Dias Duarte. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0259-6

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.596222405>

1. Ciencia. 2. Ingenieria. I. Duarte, Armando Dias (Organizador). II. Título.

CDD 501

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

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



## APRESENTAÇÃO

O conjunto de trabalhos intitulado “*Ciencia e Ingenieria 2*” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de diversos trabalhos que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar, pesquisas cujos resultados possam auxiliar na tomada de decisão, tanto no campo acadêmico, quanto no profissional.

Os trabalhos desenvolvidos foram realizados em instituições de ensino e pesquisa no México, e nos capítulos apresentados, são encontrados estudos de grande valia com temas que relacionam os recursos hídricos, ferramentas que auxiliam nos aspectos da gestão, discussões a respeito do processo de ensino e aprendizagem, segurança e empreendedorismo.

A composição dos temas buscou a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos (as), mestres (as) e todos (as) aqueles (as) que de alguma forma se interessam pela área da Engenharia Civil, através de temáticas atuais com resoluções inovadoras, descritas nos capítulos da coleção. Sendo assim, a divulgação científica é apresentada com grande importância para o desenvolvimento de toda uma nação, portanto, fica evidenciada a responsabilidade de transmissão dos saberes através de plataformas consolidadas e confiáveis, como a Atena Editora, capaz de oferecer uma maior segurança para os novos pesquisadores e os que já atuam nas diferentes áreas de pesquisa, exporem e divulgarem seus resultados.

Armando Dias Duarte

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

CULTURAS DEL AGUA. REFLEXIONES DESDE LA INTERCULTURALIDAD, CUENCA Y SOCIO-ECOSISTEMA

Alejandro Sainz Zamora

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224051>

### **CAPÍTULO 2..... 13**

PLANIFICACIÓN BASADA EN EL SERVICIO ECOSISTEMICO HÍDRICO ANTE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN HIDROGRÁFICA DEL ESTERO JALTEPEQUE, EL SALVADOR

Laura Benegas Negri

Marta Vilades Ribera

Ney Rios Ramirez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224052>

### **CAPÍTULO 3..... 24**

RESPUESTA HIDRÁULICA Y MECÁNICA EN UNA TURBOMÁQUINA Y SU RELACIÓN CON FENÓMENOS SUBSINCRÓNICOS

Hernán Darío Bolaños-Arias

Francisco Javier Botero-Herrera

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224053>

### **CAPÍTULO 4..... 37**

CÓDIGOS DE ÉTICA Y CONDUCTA, HERRAMIENTAS FUNDAMENTALES PARA LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA MUNICIPAL

Teresa Reyes Zepeda

Mónica Leticia Acosta-Miranda

Esmeralda Gutiérrez López

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224054>

### **CAPÍTULO 5..... 49**

LAS TICS Y SU RELACIÓN CON LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA - APRENDIZAJE

Carlos Ernesto Gavilondo Rodríguez.

Angiemarie Rivera.

Exi Resto de León

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224055>

### **CAPÍTULO 6..... 58**

DESARROLLANDO COMPETENCIAS DIGITALES DOCENTES EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE: FORMACIÓN DEL PROFESOR 2.0

María Alejandra Sarmiento Bojórquez

Mayte Cadena González

Juan Fernando Casanova Rosado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224056>

**CAPÍTULO 7..... 74**

ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ESCOLAR MODALIDAD VIRTUAL Y PRESENCIAL EN LA UNIDAD DE APRENDIZAJE DE FÍSICA BÁSICA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE

Mayté Cadena González  
María Alejandra Sarmiento Bojórquez  
Juan Fernando Casanova Rosado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224057>

**CAPÍTULO 8..... 88**

LA MODELACIÓN MATEMÁTICA COMO UN RESULTADO DE APRENDIZAJE TRANSVERSAL EN EL PROCESO FORMATIVO DEL INGENIERO

Vicente Sandoval Rojas  
Emilo Cariaga López  
Valeria Carrasco Zúñiga  
Soledad Yáñez Arriagada  
Ciro González Mallo  
Héctor Iturra Chico

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224058>

**CAPÍTULO 9..... 99**

RESULTADOS DE APRENDIZAJE EN CURSOS DE CIENCIAS BASICAS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UCTEMUCO CONTRIBUYENDO A LA OPTIMIZACION DEL PROCESO FORMATIVO

Carmen Soledad Yáñez  
Valeria Carrasco  
Vicente Sandoval  
Ciro González  
Héctor Turra

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224059>

**CAPÍTULO 10..... 110**

EFFECTO DE LA TÉCNICA DE DESHIDRATACIÓN SOBRE EL CONTENIDO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DE *Tropaeolum tuberosum*

Tamara Fukalova  
Villacrés Poveda Elena  
Alemán Reyes Julissa  
Almeida Shapán Rita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59622240510>

**CAPÍTULO 11..... 126**

BIOTRATAMIENTO DE SUELO CONTAMINADO POR ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ: UN RESIDUO PELIGROSO

Blanca Celeste Saucedo Martínez  
Liliana Márquez Benavides  
Gustavo Santoyo  
Juan Manuel Sánchez-Yáñez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59622240511>

**CAPÍTULO 12..... 135**

IDENTIFICACIÓN DEL RAQUIS DE MAÍZ COMO MATERIAL ADSORBENTE DE HIDROCARBUROS

Cesar Luis Redonda Deceano

David Reyes González

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59622240512>

**CAPÍTULO 13..... 143**

CARACTERIZACIÓN Y DESEMPEÑO EN RETARDANCIA A LA FLAMA DE MEZCLAS PE/EVA CON COMBINACIONES DE Mg(OH)<sub>2</sub>, KERATINA Y AGENTE INTUMESCENTE (ADN)

Saúl Sánchez valdes

J. Alvite-Ortega

E. Ramirez-Vargas

L.F. Ramos deValle

J.G. Martínez-Colunga

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59622240513>

**CAPÍTULO 14..... 159**

EMPRENDIENDO

Javier Darío Canabal Guzmán

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59622240514>

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 177**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 178**

## CARACTERIZACIÓN Y DESEMPEÑO EN RETARDANCIA A LA FLAMA DE MEZCLAS PE/EVA CON COMBINACIONES DE $Mg(OH)_2$ , KERATINA Y AGENTE INTUMESCENTE (ADN)

Data de aceite: 01/05/2022

### Saúl Sánchez Valdes

Centro de Investigación en Química Aplicada  
Coahuila, México

### J. Alvite-Ortega

Centro de Investigación en Química Aplicada  
Coahuila, México

### E. Ramirez-Vargas

Centro de Investigación en Química Aplicada  
Coahuila, México

### L.F. Ramos deValle

Centro de Investigación en Química Aplicada  
Coahuila, México

### J.G. Martínez-Colunga

Centro de Investigación en Química Aplicada  
Coahuila, México

**RESUMEN:** En este trabajo se estudió el efecto de la adición de ADN y fibras de queratina (FK) con agentes de acoplamiento (LDPE-gMA y EVA-gMA) en las propiedades de resistencia a la flama y mecánicas de mezclas de LDPE/EVA/ $Mg(OH)_2$ . Los compuestos se prepararon por mezclado en fundido con diferente contenido y composición de los agentes retardantes de flama y se caracterizaron mediante SEM, UL-94 Horizontal, LOI, calorimetría de cono, TGA y prueba mecánicas. El mejor sistema fue la mezcla de polímeros con ADN/FK/ $Mg(OH)_2$ , de acuerdo a la tasa de liberación de calor. También

se obtuvieron placas de LDPE/EVA recubiertas con ADN por termocompresión. Éste sistema se comparó con los resultados obtenidos con ADN en masa y se demostró que el recubrimiento funciona mejor cuando la combustión ocurre con menor irradiación de calor.

**ABSTRACT:** In this work, the effect of the addition of DNA and keratin fibers (FK) with coupling agents (LDPE-gMA and EVA-gMA) on the flame resistance properties and mechanics of LDPE/EVA/Mg blends was studied ( $OH$ )<sub>2</sub>. The compounds were prepared by mixing in a melt with different content and composition of flame retardant agents and were characterized by SEM, UL-94 Horizontal, LOI, cone calorimetry, TGA and mechanical testing. The best system was a mixture of polymers with DNA/FK/ $Mg(OH)_2$ , according to the rate of heat release. LDPE/EVA plates covered with DNA were also obtained by thermocompression. This system was compared with the results obtained with DNA in mass and it was shown that the coating works better when the combustion occurs with less heat irradiation.

## INTRODUCCIÓN

El uso de retardantes de flama de origen mineral es una alternativa al uso de compuestos halogenados, como es el caso del hidróxido de magnesio ( $Mg(OH)_2$ ). Este compuesto ha demostrado mejorar las propiedades de resistencia a la flama de los polímeros, además de tener baja toxicidad, ser poco corrosivo y relativamente de bajo costo (11). Sin embargo,

hay que utilizar grandes cantidades de  $Mg(OH)_2$  para lograr un efecto considerable de retardancia a la flama; trayendo como consecuencia, el decremento de la procesabilidad y el cambio de las propiedades mecánicas del material (12,13). Una alternativa más novedosa es el uso de agentes intumescentes de origen natural como el ácido desoxirribonucleico (ADN) y la fibra de queratina (FK). El ADN es una molécula compleja que contiene nitrógeno, fósforo y una base de carbono como la desoxirribosa, lo cual lo hace muy eficiente en recubrimientos intumescentes en fibras de celulosa y matrices de EVA (14,15). Por otro lado, la fibra de queratina (FK) es una proteína que ha demostrado tener propiedades retardantes a la flama y se ha utilizado también en aplicaciones como refuerzo de matrices poliméricas (16). Ambos productos son amigables con el medio ambiente y presentan costos más bajos que los agentes intumescentes convencionales, debido a que se obtienen a partir de desechos o subproductos de la industria alimenticia (16,17). Con la finalidad de desarrollar nuevos sistemas con resistencia a la flama, libres de halógenos y con buenas propiedades mecánicas, en este trabajo se utilizó ADN y fibras de queratina en mezclas de LDPE/EVA utilizando agentes de acoplamiento para reducir el contenido de  $Mg(OH)_2$  y mejorar las propiedades de retardancia a la flama.

## PARTE EXPERIMENTAL

Las resinas de EVA (ELVAX 260) y LDPE (PX20020X) fueron adquiridas en DuPont y PEMEX, respectivamente. Se utilizaron los agentes de acoplamiento EVA-gMA (Bynel 3095) y LDPE-gMA (FQC CA 10-149) de DuPont y First Quality Chemicals, respectivamente. Los retardantes de flama utilizados fueron ADN (D3159) de Sigma Aldrich, plumas de ganso (HOLLANDER) e hidróxido de magnesio (MAGNIFIN H-5 MV) de ALBERMARLE. Las plumas se cortaron en un molino de cuchillas marca Brabender a 3500 rpm y se tamizaron en el RO-TAP por 10 min empleando un tren de filtros de 2.36 mm, 850  $\mu m$ , 300  $\mu m$ , 212  $\mu m$  y 106  $\mu m$ . Los compuestos se prepararon a una relación 70/30 mediante mezclado en fundido en un extrusor Xplore durante 10 min a 100 rpm y 170°C. En todas las formulaciones se mantuvo constante la relación 70/30 de la mezcla polimérica LDPE/EVA y el contenido de los agentes de acoplamiento (7% para LDPE-gMA y 3% de EVA-gMA). Se evaluaron tres retardantes de flama diferentes a una misma concentración, combinados e individualmente. Se utilizó un 30 % de hidróxido de magnesio, 5% ADN y 10% de fibra de queratina. En la Tabla 1 se muestra las composiciones de cada mezcla. Se obtuvieron placas por compresión en una prensa hidráulica con temperatura controlada, por un tiempo de 15 min a 170°C.

Formulación	LDPE/ EVA	Mg(OH) <sub>2</sub>	ADN	Fibra de Queratina
1	70/30	-	-	-
2	70/30	30	-	-
3	70/30	-	5	
4	70/30	-	-	10
5	70/30	30	5	0
6	70/30	30	0	10
7	70/30	30	5	10
8	70/30	0	5	10
Referencia	70/30	50	-	-

Tabla 1. Composiciones de los nanocompuestos.

El ADN se mezcló en seco con el LDPE-gMA pulverizado mediante una punta con ultrasónico a máxima potencia por 30 min. Posteriormente, se obtuvo una película de ADN/LDPE-gMA por moldeo por compresión 170°C por 1.5 min a 5 MPa. Esta película se depositó sobre la placa de LDPE/EVA/EVA-gMA y se adhirió mediante termocompresión en una prensa hidráulica a las mismas condiciones.

Los análisis de TGA se llevaron a cabo a una rampa de calentamiento de 10°C/min a un intervalo de temperatura de 30 a 800 °C, en atmósfera de nitrógeno. El equipo TA Instrumens TGA-Q500 utilizado consiste de una balanza de alta precisión con un recipiente cargado con la muestra. Las muestras se fracturaron criogénicamente en nitrógeno líquido y se recubrieron con oro-paladio para darles características conductoras. Los análisis se realizaron en un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo marca JEOL JSM-740 IF. La prueba UL-94 horizontal se realizó conforme a la norma ASTM D635. Las probetas se marcaron a 25 mm y 100 mm y se sujetaron horizontalmente. Se mantuvo la probeta en contacto con una llama de 20 mm de alto durante 30 seg. Se midió el tiempo y la distancia que duró encendida la probeta o hasta que llegó a la marca de los 100 mm. Se utilizó una cámara de inflamabilidad CEAST. El índice de oxígeno (LOI) se determinó según la norma ASTM D-2863. A 28 valores menores a 21% se consideran materiales combustibles y a valores mayores se consideran auto-extinguibles. Se utilizó un cono calorimétrico de Fire Testing Technology siguiendo el método descrito en la norma ASTM E1354. El cono calorimétrico se calibró a 5 kW con flujo de metano, el flujo en el ducto de extracción fue de 24 L/s y el analizador fue calibrado con un 20.95% de oxígeno. El flujo de calor para la evaluación de las muestras fue de 35 kW/m<sup>2</sup>. Una vez que el material se incendió se registró el tiempo el cual tardó para la ignición y el tiempo en el cual se extinguió la flama. Las propiedades mecánicas se realizaron siguiendo la norma ASTM D 638-01. Los compuestos se evaluaron en una máquina universal de pruebas mecánicas marca MTS Criterion modelo 43 con una celda de carga de 500 N. Se utilizó una tasa de

desplazamiento del cabezal de 10 mm/min y una separación entre mordazas de 1 pulgada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Obtención de fibras de queratina

En la Figura 1 se muestra una micrografía de las fibras de queratina obtenidas donde se puede apreciar las dimensiones de las mismas. El diámetro oscila de 3 a 30  $\mu\text{m}$  y el largo de 30 a 270  $\mu\text{m}$ . Estas dimensiones son similares a las reportadas por Krystyna Wrzeźniewska y Tosik, quienes obtuvieron fibras de queratina por una metodología similar (16).

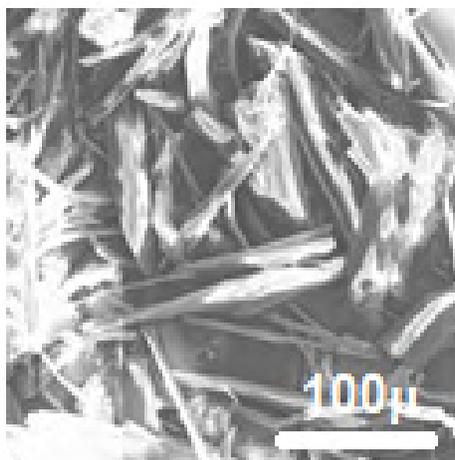


Figura 1. Micrografía SEM de las fibras de queratina.

### Caracterización de compuestos

En la Figura 2 se muestra una micrografía SEM de la superficie fracturada de la placa LDPE/EVA/LDPE-gMA/Mg(OH)<sub>2</sub>/ADN/FK. Se puede apreciar el ADN adherido al hidróxido de magnesio y a la matriz polimérica sin formar grandes aglomerados. Se muestra el ADN adherido a la fibra de queratina.

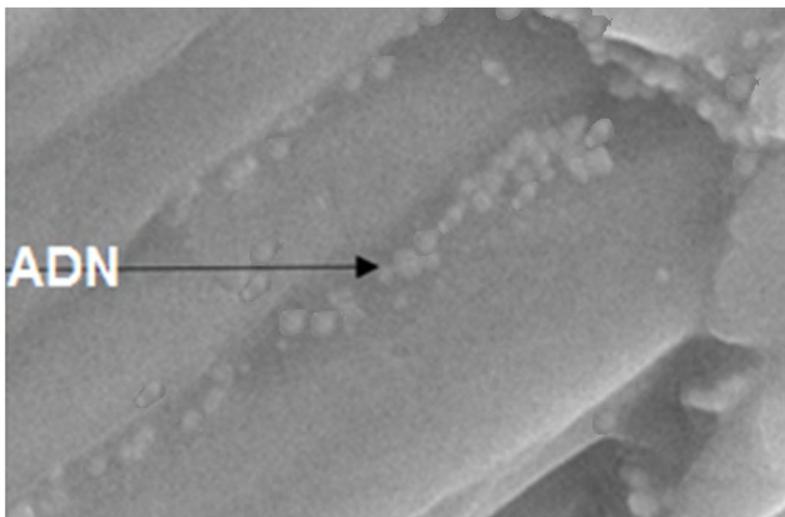


Figura 2. Micrografía SEM de la mezcla LDPE/EVA/Comp/Mg(OH)<sub>2</sub>/ADN/FK.

### Prueba UL-94 HB

En la Tabla 2 se muestra la rapidez de propagación de la flama de los compuestos. Todos clasificaron como HB y en todos se observó goteo. En todas las formulaciones la rapidez de quemado fue menor con respecto a la mezcla polimérica. El sistema de referencia de la industria (50% de hidróxido de magnesio) fue el de menor rapidez de quemado (Vq) de 18.03 mm/min. No obstante, el sistema con ADN y fibra de queratina fue el de menor Vq ( $22.05 \pm 1.62$  mm/min) con respecto a los otros sistemas. Esto es debido a la similitud en el mecanismo de retardancia de ambos componentes, el cual consiste en la formación de una capa espumada que protege el polímero. En el caso de la fibra de queratina, al ser una proteína, sus principales grupos de aminoácidos contribuyen en la formación de compuestos fenoles y aromáticos. Estos compuestos son estructuras estables a elevadas temperaturas. La fibra de queratina al descomponerse crea una capa espumada de menor volumen que el ADN, ya que presenta una menor cantidad de compuestos a base de nitrógeno, lo cual es fundamental para producir las burbujas.

Formulaciones	UL-94	Vq (mm/min)	goteo
LDPE/EVA/Comp.	HB	29.87 ± 0.98	si
P/Mg(OH) <sub>2</sub> (50%) Ref.	HB	18.03 ± 0.22	si
P/Mg(OH) <sub>2</sub>	HB	24.40 ± 0.24	si
P/ADN	HB	25.67 ± 0.70	si
P/FK	HB	24.43 ± 1.37	si
P/Mg(OH) <sub>2</sub> /ADN	HB	29.51 ± 1.85	si
P/Mg(OH) <sub>2</sub> /FK	HB	24.45 ± 0.45	si
P/Mg(OH) <sub>2</sub> /ADN/FK	HB	26.15 ± 0.08	si
P/ADN/FK	HB	22.05 ± 1.62	si

Tabla 2. Rapidez de propagación de la flama de compuestos.

En el caso del sistema con los agentes intumescentes y el hidróxido de magnesio se obtuvo una rapidez de quemado ligeramente mayor con respecto al sistema intumescente. Esto pudiera sugerir que el mecanismo de retardancia del hidróxido de magnesio está interfiriendo el proceso de los agentes intumescente, ya que el grosor de todos estos procesos ocurre entre 300 a 350°C. El hidróxido de magnesio absorbe calor, comienza a liberar agua y crea una capa carbonosa de óxido de magnesio protegiendo al polímero. En los sistemas formados por un agente intumescente y el hidróxido de magnesio se obtuvo una rapidez de quemado superior al sistema compuesto por cada uno individualmente, siendo más notable en el caso del ADN. Esto ratifica que los mecanismos de retardancia del Mg(OH)<sub>2</sub> y los intumescentes se interfieren. Cuando el Mg(OH)<sub>2</sub> es expuesto a la flama, comienza a absorber calor y a liberar agua, “enfriando” el sistema y el agente intumescente no alcanza la temperatura necesaria para producir su efecto. El agua liberada por el hidróxido de magnesio interfiere con la formación de burbujas en la creación de la capa espumada de los intumescentes.

## ÍNDICE DE OXIGENO

En la Tabla 3 se muestran el porcentaje mínimo necesario para que ocurra la ignición de cada sistema estudiado. Todas las formulaciones con hidróxido de magnesio combinado con los agentes intumescentes clasifican en autoextinguibles, sin superar la muestra referencia.

Formulaciones	% OXIGENO
LDPE/EVA/Comp.	18
P/ADN	20
P/FK	19.5
P/Mg(OH) <sub>2</sub>	19
P/ADN/FK	20
P/Mg(OH) <sub>2</sub> /FK	22
P/Mg(OH) <sub>2</sub> /ADN	21
P/Mg(OH) <sub>2</sub> /ADN/FK	24
P/Mg(OH) <sub>2</sub> 50%/Ref.	25

Tabla 3. Resultados de LOI de los nanocompuestos.

## CALORIMETRÍA DE CONO

En la Figura 3 se muestra un gráfico comparativo de la tasa de liberación de calor (HRR) con respecto al tiempo de los sistemas estudiados.

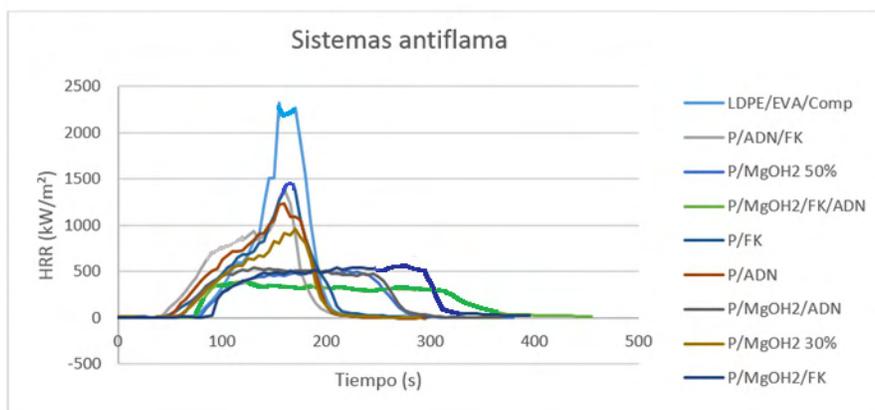


Figura 3. Tasa de liberación de calor (HRR) vs tiempo de los sistemas.

Los mejores sistemas fueron aquellos que contenían hidróxido de magnesio y agentes intumescentes, ya que presentaron un comportamiento retardante a la flama similar al sistema de referencia de la industria (P/Mg(OH)<sub>2</sub> 50%). En la Tabla 4 se muestran el pico máximo de liberación de calor (PHRR), la reducción de PHRR con respecto al sistema polimérico (%), el calor total liberado (THR) y el tiempo de ignición (TTI). Los resultados obtenidos sugieren que las mejores formulaciones retardantes a la flama fueron las que contienen hidróxido de magnesio y agentes intumescentes. Los sistemas con mejor comportamiento de retardancia a la flama de acuerdo a la prueba del índice de oxígeno limitante coincidieron con los obtenidos en calorimetría de cono. Esto es debido a la forma

en que se realiza la prueba, donde los agentes intumescentes tienen el calor necesario para poder llevar a cabo su mecanismo de retardancia.

Calorimetría de cono				
Formulaciones	PHRR (kW/m <sup>2</sup> )	Reducción de PHRR (%)	THR (MJ/m <sup>2</sup> )	TTi (s)
LDPE/EVA/Comp.	2323.50	0.00	121.72	69
P/ADN	1237.28	46.75	99.66	44
P/FK	1551.87	33.21	100.56	43
P/Mg(OH) <sub>2</sub>	954.74	58.91	75.65	54
P/ADN/FK	1385.51	40.37	102.05	38
P/Mg(OH) <sub>2</sub> /ADN	539.38	76.79	91.58	56
P/Mg(OH) <sub>2</sub> /FK	687.23	70.42	105.19	84
P/Mg(OH) <sub>2</sub> /FK/ ADN	390.41	83.20	85.76	70
P/Mg(OH) <sub>2</sub> 50% Ref.	506.75	78.19	75.57	76

Tabla 4. Resultados de la calorimetría de cono de los sistemas estudiados.

En cuanto al tiempo de ignición el mejor sistema fue el que contenía hidróxido de magnesio y fibra de queratina (P/Mg(OH)<sub>2</sub>/FK) con un tiempo de 84 segundos, debido a la acción conjunta de estos componentes. Durante el proceso de degradación el hidróxido de magnesio libera agua y como consecuencia “enfriá” el material. Por otro lado, la fibra de queratina al ser una proteína forma compuestos fenoles y aromáticos, que son estructuras estables a alta temperatura. Por tales razones, este sistema tiene más resistencia a la combustión. Los sistemas que contienen solo los agentes intumescentes mostraron menores TTi ya que debido a su origen orgánico son más sensibles a la temperatura y a su vez comienzan el mecanismo de retardancia a la flama a menores temperaturas.

La reducción del PHRR del sistema con hidróxido de magnesio y fibra de queratina fue de 70.42% y aunque no llega a superar el sistema de referencia (78.19%), el valor no está muy distante. No obstante, el sistema con hidróxido de magnesio y ADN (P/Mg(OH)<sub>2</sub>/ADN) tuvo un mejor desempeño que el anterior, obteniéndose una reducción de PHRR del 76.79% y un menor calor total liberado.

Con respecto al pico máximo de liberación de calor, el mejor sistema fue el que contenía hidróxido de magnesio y los agentes intumescentes (P/Mg(OH)<sub>2</sub>/FK/ADN). La reducción de PHRR fue de 83.20%, superando a la muestra de referencia, debido a que todos los retardantes a la flama colaboraron para disminuir la liberación de calor. En esta Figura se puede apreciar como este sistema luego de su ignición tiene su pico máximo de calor y continúa su desprendimiento de calor en decremento hasta extinguirse. Esto es

un buen indicativo en la retardancia a la flama ya que al desprender menos calor existe un menor riesgo de que se convierta en fuente para otro incendio. Este sistema presentó el menor calor total liberado ( $85.76 \text{ MJ/m}^2$ ) de todos, exceptuando la referencia industrial. En la Figura 4 se puede apreciar la capa espumada formada por este sistema, demostrando los agentes intumescentes tuvieron la temperatura necesaria para producir la capa espumada sin que el hidróxido de magnesio interfiriera en su mecanismo de retardancia.



Figura 4. Capa espumada intumescente formada por la placa polimérica de 3 mm de espesor compuesta por los tres FR estudiados en calorimetría de cono.

En la Figura 5 se presentan fotografías de los residuos carbonosos (cenizas) de todos los sistemas después de la prueba de calorimetría de cono. En los sistemas P/ADN y P/FK solo se observan las cenizas del residuo de la combustión. Por otro lado, se observa que las formulaciones que contenían hidróxido de magnesio forman una mayor cantidad de residuos carbonosos debido a que el óxido de magnesio resultante aísla el polímero evitando que se consuma totalmente. En cambio, en las formulaciones sin hidróxido de magnesio solo se aprecian las cenizas.

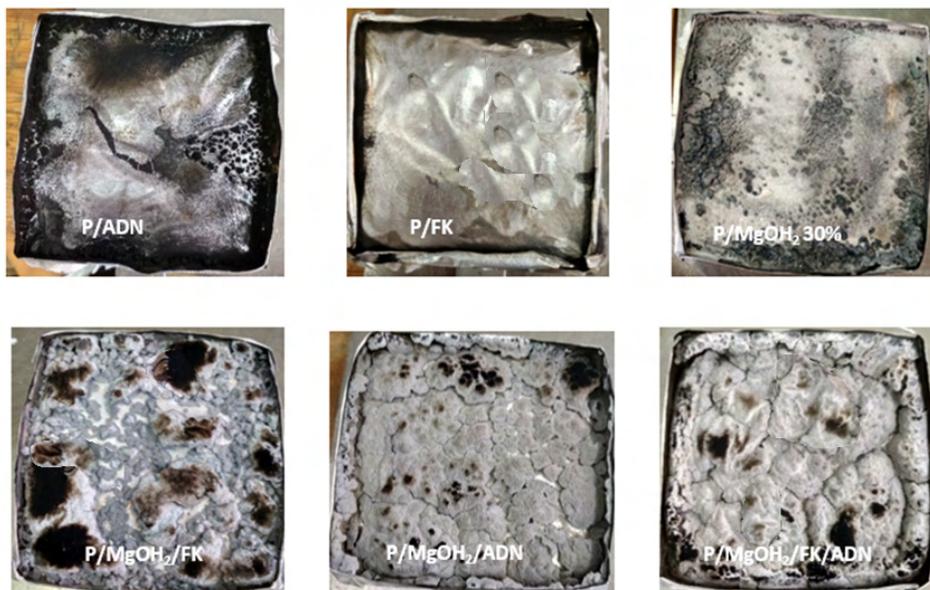


Figura 5. Residuos obtenidos en la calorimetría de cono.

## ESTABILIDAD TÉRMICA

Las diferentes formulaciones se compararon de acuerdo a la temperatura máxima, la rapidez de pérdida de masa y los residuos a 500°C, con respecto al sistema polimérico base (sin agentes RF) (Tabla 5).

Formulaciones	Tmax (°C)	Rapidez en la pérdida de masa en Tmax (%/°C)	Residuos a 500°C (%)
LDPE/EVA/Comp	465.15	2.60	0
P/ADN	472.35	2.45	2.00
P/FK	474.30	2.38	0.84
P/Mg(OH) <sub>2</sub>	472.81	1.83	21.12
P/ADN/FK	472.68	2.16	6.02
P/Mg(OH) <sub>2</sub> /ADN	474.43	1.95	23.09
P/Mg(OH) <sub>2</sub> /FK	477.57	1.56	23.09
P/Mg(OH) <sub>2</sub> /ADN/FK	472.63	1.47	26.40
P/Mg(OH) <sub>2</sub> 50% Ref	476.17	1.41	33.32

Tabla 5. Comparación de los resultados obtenidos por TGA.

Todos los sistemas con hidróxido de magnesio presentaron una menor rapidez de pérdida de masa (en Tmax) y formaron una mayor cantidad de residuos a 500°C. Esto

es debido a los mecanismos de descomposición del hidróxido de magnesio. Al absorber calor durante su descomposición libera agua y “enfriá” el material, además forma una capa carbonosa que protege al material. Los sistemas que contienen fibra de queratina presentaron una mayor temperatura de degradación máxima debido a la formación de compuestos estables a alta temperatura (fenoles y aromáticos) (71). La formulación con fibra de queratina e hidróxido de magnesio presentó mayor temperatura de degradación, superando a la referencia, debido a que ambos componentes tienen una alta estabilidad térmica por sí mismos. Al comparar los sistemas P/ADN y P/FK se aprecia como la fibra de queratina le confiere mayor estabilidad térmica al compuesto, en cambio el ADN es capaz de formar más residuo.

El compuesto con hidróxido de magnesio y los agentes intumescentes (P/Mg(OH)<sub>2</sub>/ADN/FK) presentó una rapidez de pérdida de masa menor y un mayor porcentaje de residuos, comparado con el sistema de referencia. En este sistema hay una colaboración de todos los RF, proporcionando así, una mayor resistencia a la pérdida de masa.

## PROPIEDADES MECÁNICAS

Las fibras de queratina presentan anisotropía, es decir, sus propiedades físicas varían según la dirección en que sea examinada. En el caso de los sistemas con fibras obtenidos en este trabajo hay una orientación aleatoria de las mismas debido al método de obtención (moldeo por compresión). Los materiales compuestos con fibras aleatoriamente orientadas y distribuidas en la matriz son isotrópicos. Las fibras orientadas paralelamente a la dirección de la carga producirán mayor reforzamiento que las orientas en otras direcciones. El ADN presenta un tamaño nanométrico (largo de una hebra < 10 nm) que no presentan estructuras rígidas como en el caso de las fibras de queratina. Su estructura es deformable, ya que por su propia naturaleza este es capaz de reconstruirse y desdoblarse. El uso de determinadas nanopartículas puede introducir nuevos mecanismos de disipación de energía en los polímeros a bajas concentraciones (5%) mejorando sus propiedades mecánicas (72).

En la Tabla 6 se muestran los valores de la resistencia a la tensión, módulo de elasticidad y elongación a la ruptura de sistemas estudiados

Formulaciones	Módulo de elasticidad (MPa)	Resistencia tensil (MPa)	Elongación a la ruptura (%)
LDPE/EVA/comp.	84.23 ± 3.34	16.18 ± 0.57	728.68 ± 41.56
P/Mg(OH) <sub>2</sub> (50%) Ref.	165.85 ± 11.83	3.06 ± 0.25	3.68 ± 0.30
P/ADN	86.24 ± 1.92	18.04 ± 0.54	930.23 ± 51.94
P/FK	143.36 ± 12.54	12.26 ± 0.98	63.50 ± 5.56
P/Mg(OH) <sub>2</sub>	107.36 ± 9.30	5.15 ± 0.49	16.92 ± 1.48
P/Mg(OH) <sub>2</sub> /ADN	165.07 ± 11.72	10.59 ± 0.44	31.53 ± 2.25
P/Mg(OH) <sub>2</sub> /FK	188.21 ± 4.80	9.48 ± 0.57	20.09 ± 0.61
P/Mg(OH) <sub>2</sub> /AND/FK	215.56 ± 13.45	9.56 ± 0.94	21.06 ± 1.18
P/ADN/FK	166.43 ± 3.93	10.46 ± 0.57	23.52 ± 0.69

Tabla 6. Comparación de los resultados obtenidos por prueba de tensión.

El sistema con hidróxido de magnesio y los agentes intumescentes superaron las propiedades mecánicas de la referencia (50 % Mg(OH)<sub>2</sub>). Esto demuestra la buena interacción entre todos los RF utilizados y la matriz polimérica.

La adición de fibras de queratina reforzó la mezcla polimérica (P/FK) incrementando el módulo de elasticidad a 143.36 MPa y la resistencia tensil a 12.26 MPa. De esta forma se logró un material menos frágil que cuando se utiliza el hidróxido de magnesio. Esto es debido a que las fibras de queratina son proteínas de estructuras fibrosas de gran resistencia física presentes en funciones estructurales como garras, exoesqueletos, plumas, cabello, etc. El sistema con los dos agentes intumescentes (P/ADN/FK) presentó un mayor módulo elástico (166.43 MPa) que los sistemas que contenían cada uno de ellos por separado, obteniéndose un material más rígido. En cuanto a la elongación a la ruptura y la resistencia tensil fue menor que los sistemas que contenían cada uno de ellos, esto puede ser debido a que no se hayan acoplado todos los agentes intumesciente en la matriz polimérica. En el sistema con ADN (P/ADN) aumentaron todas las propiedades mecánicas con respecto al sistema polimérico base, lo cual indica que el ADN presenta buena interacción en la matriz polimérica. En particular, incrementó la elongación a la ruptura en 930.23% con respecto a la mezcla polimérica base (728.68%), por lo que se logró un material con mayor propiedad de deformación que el original. Esto demuestra que el ADN está bien adherido a la matriz polimérica y gracias a su naturaleza le confiere una mayor propiedad elástica. El sistema con hidróxido de magnesio y ADN (P/Mg(OH)<sub>2</sub>/ADN) mostró un módulo elástico similar a la referencia industrial y la resistencia tensil y elongación a la ruptura incrementaron a 10.59 MPa y 31.53%, respectivamente, por lo que el material obtenido tiene menor fragilidad. El sistema con hidróxido de magnesio y fibras de queratina (P/Mg(OH)<sub>2</sub>/FK) incrementó en mayor medida el módulo de elasticidad a 188.21 MPa con respecto a la referencia,

debido a la naturaleza de las fibras. Las fibras también aportaron a este sistema una mayor resistencia tensil y la elongación a la ruptura que el sistema de referencia, obteniéndose un material con menor fragilidad.

## CONCLUSIONES

El sistema LDPE/EVA/Comp/ADN/FK/Mg(OH)<sub>2</sub> tuvo mejor propiedad de retardancia a la flama que el sistema de referencia (50% de hidróxido de magnesio) y mejores propiedades mecánicas. La incorporación de fibras de queratina y ADN a los sistemas de LDPE/EVA/Mg(OH)<sub>2</sub> incrementó su propiedad de retardancia a la flama debido a que hubo un efecto aditivo entre la capacidad intumescente del ADN y el efecto ignífugo del Mg(OH)<sub>2</sub>, aún a menores contenidos que los empleados convencionalmente. La adición de fibras de queratina reforzó la matriz polimérica confiriéndole mejores propiedades de deformación en comparación al Mg(OH)<sub>2</sub>, debido a su estructura fibrilar. La incorporación de ADN incrementó significativamente las propiedades mecánicas de la matriz polimérica debido a su tamaño nanométrico y posible enmarañamiento de sus cadenas en la matriz polimérica. Se estableció una metodología para el recubrimiento de placas de LDPE/EVA con ADN, el cual mostró un mejor desempeño en combustiones bajo la aplicación de una llama directa al material, debido a una mejor acción como capa aislante.

## REFERENCIAS

1. Zarringhalam-Moghaddam A, Saedi G. 2, 2000, *Scientia Iranica*, Vol. 7.
2. Laoutid F., Bonnaud L., Alexandre M., Lopez-Cuesta J.-M. 63, 2009, *Dubois Ph.- Materials Science and Engineering*.
3. Zhong H., Wu D., Wei P., Jiang P., Li Q, Hao J. 42, 2007, *Journal Mater Sci*.
4. Jian-Dong Z., Rong-Xun LI., Shao-Hua F., Guang-Ye L., Jian-qing Z. 15, 2008, *Journal of Central South University of Technology*.
5. Covaci A., Harrad S., Abdallah M.A., Ali N., Law R.J. 37, 2011, *Environment International*.
6. Shaghghi S. y Mahdavian A. R. 2006, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, Vol. 13.
7. Sorribes, Àlex Garrido. *Estudio experimental de desarrollo de plásticos ignífugos*. 2015. pág. 25.
8. Patiño, Y., Díaz, E., & García, S. O. 2, 2014, *Avances en Ciencias e Ingeniería*, Vol. 5, págs. 1-20.
9. ROTH. 2016, *ficha técnica de óxido de antimonio*.
10. A. B. Morgan y C. A. Wilkie. 2007, *Flame Retardant Polymer Nanocomposites*, New Jersey EUA., págs. 1-31.
11. Ok J., Matyjaszewski K. 2, 2006, *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, Vol. 16.

12. Razak, J. A., Akil, H. M., & Ong, H. 2, 2007, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, Vol. 20, págs. 195-205.
13. Anna P., Marosi G., Bertalan G., Marton A. Szep A. 2002, *Journal of Macromolecular Science*, Vol. 41.
14. Alongi, J., Carletto, R. A., Di Blasio, A., Carosio, F., Bosco, F., & Malucelli, G. 2013, *Journal of Materials Chemistry A*.
15. Alongi, J., Di Blasio, A., Cuttica, F., Carosio, F., & Malucelli, G. 2014, *European Polymer Journal*.
16. Wrześniewska-Tosik, K., Zajchowski, S., Bryśkiewicz, A., & Ryszkowska, J. 2014, *Fibers & Textiles in Eastern Europe*.
17. Wang L., Yoshida J. 2001, *Chem. Master*.
18. Charles A. Harper, Edward M. Petrie., 2003, *Plastics Materials and Processes, a Concise Encyclopedia*,, pág. 428.
19. Cornelia Vasile. 2005, *Practical guide to Polyethylene, Rapra Technology*.
20. [En línea] 2018. [https://es.123rf.com/photo\\_45466631\\_fórmula-química-estructural-y-el-modelo-de-molécula-de-polietileno.html](https://es.123rf.com/photo_45466631_fórmula-química-estructural-y-el-modelo-de-molécula-de-polietileno.html).
21. 2018, Packaging news for today's industry.
22. Andrew J. Peacock. 2000, *Handbook of Polyethylene: Structures, Properties and Applications*.
23. [En línea] 2018. <https://www.paxonplastic.com/lpde-the-first-polyethylene/>.
24. Manas Chanda. 2007, *Plastics Technology Handbook*, págs. 4-51.
25. Y. Y. Yen, H. T. Wang y W. G. Guo., 2012, *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 97, págs. 863-869.
26. E. D. Weil y S. V. Levchik. 2008, *Journal of Fire Sciences*, Vol. 26, págs. 5-43,.
27. B. Li, H. Jia, L. Guan, B. Bing y J. Dai. 2009, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 114, págs. 3626–3635.
28. Mishra, S., & Verma, J. 4, 2006, *Journal of applied polymer science*, Vol. 101, págs. 2530-2537.
29. Risch, S. J. 18, 2009, *J. Agr. Food Chem.*, Vol. 57, págs. 8089-8092.
30. Walters, R. N., & Lyon, R. E. 3, 2003, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 87, págs. 548-563.
31. J. E. Mark. s.l. : 2 ed., Springer Science + Bussine, 2007, *Physical Properties of Polymer Handbood*, págs. 889 - 924.
32. Gonzalez O. 2009, *Ingeniería de Protección contra el Fuego*.
33. Mouritz, A.P. and Gibson, A.G., 2007, *Flame retardant composites*, in *Fire Properties of Polymer Composite Materials*, págs. 237-286.

34. F. Laoutid, L. Bonnaud, M. Alexandre, J. Lopez-Cuesta y P. Dubois,. 63, 2009, *Materials Science and Engineering*, págs. 100-125.
35. J. Troitzsch. 2004, *Plastics Flammability Handbook Principles, Regulations, Testing, and Approval*, 3 ed., Hanser Gardner Publications Inc., págs. 33-170.
36. S. ScharTEL y T. Hull. 2007, *Fire and Materials*, Vol. 31, págs. 327-354.
37. M. Pearce y R. Liepins. 1975, *Environmental Heat Perspectives*, Vol. 11, págs. 59-69.
38. J. Murphy, Ed.,. 2001, *Additives for Plastics Handbook*, 2 ed., Elsevier Science Ltd., págs. 115-140.
39. Labuschagné, F.J.W.J.,. 2003, *Disertación de tesis doctoral, "Metal Catalysed Intumescence of Polyhydroxyl Compounds"* University of Pretoria, Pretoria,.
40. Laoutid, F., Bonnaud, L., Alexandre, M., Lopez-Cuesta, J. M., & Dubois, P. 3, *Materials Science and Engineering*, Vol. 63, págs. 100-125.
41. Pettigrew, A. 1993, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 4th ed. New York, NY: John Wiley and Sons, .
42. Gächter R., Muller H.,. 1997, *Plastic Additives Handbook*, 3rd Edition,, págs. 709-712.
43. A. Möller, Z. Xie, R. Sturm y R. Ebinghaus,. 2011, *Environmental Pollution*, Vol. 159, págs. 1577-1583.
44. C. A. de Wit, D. Herzke y K. Vorkamp,. 2010, *Science of the Total Environment*, Vol. 408, págs. 2885–2918.
45. C. Munschy, K. Héas-Moisan, C. Tixier, L. Boulesteix y J. Morin,. 2011, *Science of the Total Environment*, Vol. 409, págs. 4618–4627.
46. D. Constantine, Papaspyrides y P. Kiliaris,. 2014, *Polymer Green Flame Retardants*, Atenas: Elsevier B.V., págs. 181-220.
47. Buenzas N. 2010, *Guía plástico y fuego*.
48. Dasari, A., Yu, Z. Z., Cai, G. P., & Mai, Y. W. 9, 2013, *Progress in Polymer Science*, Vol. 38, págs. 1357-1387.
49. Wang C.Q., Ge F.-Y., et al.,. 2013, *Journal of Applied Polymer Science* , Vol. 130, págs. 916-926.
50. Alongi, J., Cuttica, F., & Carosio, F. 6, 2016, *Sustainable Chemistry & Engineering*, Vol. 4, págs. 3544-3551.
51. Zabihi, O., Ahmadi, M., Khayyam, H., & Naebe, M. 2016, *Scientific reports*, Vol. 6, pág. 38194.
52. Sánchez-Olivares, G., Medina-Torres, L., Calderas, F., Sánchez-Solis, A., Moreno-Morales, R. L., Ramírez-González, V., & Manero, O. 4, 2017, *Ingeniería, investigación y tecnología*, Vol. 18, págs. 369-378.
53. Davies, P. J., Horrocks, A. R., & Miraftab, M. 10, 2000, *Polymer international*, Vol. 49, págs. 1125-1132.
54. Ou, Y. X., & Li, J. J. 2006, *Flame Retardants: Properties, Preparation and Application*.

55. Eduardo Ramirez-V, Saul Sanchez-V, et al. 2, 2012, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 123, págs. 1125-1136.
56. Gunter Beyer. 2001, Fire and materials, Vol. 25, págs. 193-197.
57. Laachachi A., Ferriol M., Cochez M., Cuesta J. M. L., Ruch, D., 9, 2009, Polymer Degradation and Stability, Vol. 94, págs. 1373-1378.
58. Razak, J. A., Akil H. Md., Ong H. Journal of Thermoplastic Composite Materials., Vol. 20, págs. 195-205.
59. Jordan J. W. 1949, Journal of Physical Chemistry, Vol. 59, págs. 294-296.
60. Mosnacek J, Basfar AA, Shukri TM, . 5, 2008, Polymer Journal, Vol. 40, págs. 460-464.
61. Sánchez-Valdes S, Ramírez-Vargas E., et al. 2012, Composites B, Vol. 43, pág. 497.
62. Lujan-Acosta R. 2013, Tesis doctoral, CIQA, Saltillo, Coah, México.
63. Chiellini, E., Corti, A., D'antone, S., & Baciú, R. 11, 2006, Polymer Degradation and Stability, Vol. 91, págs. 2739-2747.
64. Hernández, E. H., Gámez, J. F. H., Cepeda, L. F., Muñoz, E. J. C., Corral, F. S., Rosales, S. G. S., ... & Martínez, D. I. S. 21, 2017, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 134.
65. Du, J., Zhao, L., Zeng, Y., Zhang, L., Li, F., Liu, P., & Liu, C. 4, 2011, Carbon, Vol. 49, págs. 1094-1100.
66. Laboratories, Underwriters' Laboratories. (1990). Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances. Underwriters. [En línea]
67. ASTM, D. (2005). 2863. Oxygen index flammability test.
68. Ramirez, F. Itzel. 2012, Tesis doctoral, CIQA, Saltillo, Coah, México.
69. Morgan, A. B., & Bundy, M. 4, 2007, Fire and Materials: An International Journal, Vol. 31, págs. 257-283.
70. Dittrich, B., Wartig, K. A., Mülhaupt, R., & Schartel, B. 11, 2014, Polymers, Vol. 6, págs. 2875-2895.
71. Brebu, M., & Spiridon, I. 2, 2011, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 91, págs. 288-295.
72. Realinho, M. Antunes, D. Arencón, A. Gordillo, A. B. Martínez, J.I.Velasco. 2007, Anales de la Mecánica de Fractura.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aceite residual automotriz 126, 127, 128, 130, 132

Administración pública municipal 37, 38, 42, 43, 46

Agua 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 26, 107, 108, 114, 116, 119, 122, 129, 130, 139, 141, 142, 148, 150, 153

Análisis de fase 24, 25, 27, 32, 33, 34

Análisis espectral 24, 25, 27, 29

Aprendizaje 9, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 57, 59, 60, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 109, 164, 166, 172

### B

B-caroteno 110, 113, 114, 115, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 124

Bienestar humano 13

BIENESTAR HUMANO 8

### C

Carotenoides 114, 115, 124

CAROTENOIDES 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125

CÓDIGOS DE ÉTICA Y CONDUCTA 41, 45

Competencia digital 58

Control interno 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 166

Covid-19 74, 75, 85, 86, 87

Culturas 1, 6, 7, 9, 11, 12, 164

CURSOS CIENCIAS BÁSICA 99

### D

Deshidratación 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 123, 125

### E

E-learning 63, 74, 75, 79, 86, 87

Enfoque cuantitativo 49

### F

Formación del ingeniero 97

Formación por competencias 99

## **M**

Métodos 14, 25, 26, 32, 49, 68, 78, 106, 113, 114, 115, 117, 119, 120, 121, 122, 124, 128, 167

México 1, 4, 5, 11, 37, 38, 47, 48, 58, 59, 65, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 86, 126, 127, 133, 134, 136, 138, 139, 143, 158

Microorganismos 8, 127, 131, 136

MINERALIZACIÓN 127, 128, 131, 132

Modelación matemática 88, 89, 90, 98

## **P**

Planificación de cuencas 13

Plantas 2, 8, 127, 130

## **R**

Rendimiento escolar 54, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 84, 85, 86, 87

Residuo peligroso 126, 127, 128, 132

Resultado de aprendizaje 88, 90, 97

Rotating stall 24, 25, 34, 35, 36

## **S**

Socioconstructivismo 88, 91, 94

Soluciones basadas en la naturaleza 13

Suelo 9, 14, 17, 18, 19, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133

Surge 24, 25, 32, 33, 34, 35, 36, 76, 167

## **T**

TIC 58, 60, 66, 71, 73, 86, 87, 100

Tuberculo mashua 110

## **V**

Valor nutritivo 110

## **W**

Web 2.0 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 71, 72, 73

## **Z**

Zonificación territorial 13



Entre  
CIENCIA  
e  
INGENIERIA  
2

 [www.arenaeditora.com.br](http://www.arenaeditora.com.br)  
 [contato@arenaeditora.com.br](mailto:contato@arenaeditora.com.br)  
 [@arenaeditora](https://www.instagram.com/arenaeditora)  
 [www.facebook.com/arenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/arenaeditora.com.br)



Entre

# CIENCIA

e

# INGENIERIA

# 2

 [www.arenaeditora.com.br](http://www.arenaeditora.com.br)

 [contato@arenaeditora.com.br](mailto:contato@arenaeditora.com.br)

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

 [www.facebook.com/arenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/arenaeditora.com.br)