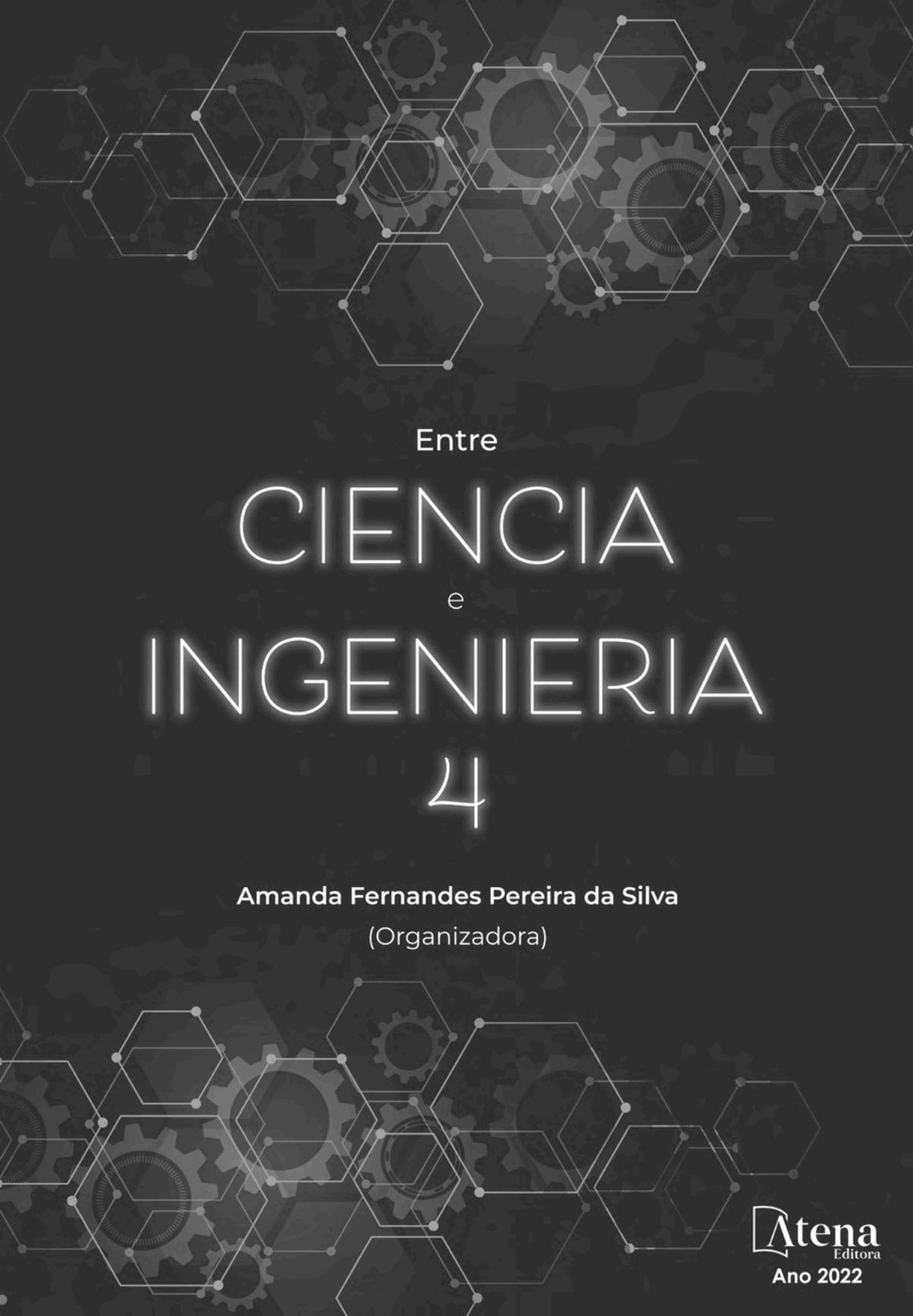
The background of the cover is a deep blue color. It features a complex pattern of overlapping hexagons and gears. Some hexagons are outlined in a lighter blue, while others are filled with a slightly darker shade. Gears of various sizes are scattered throughout, some appearing as faint outlines and others as more prominent, detailed shapes. The overall effect is a sense of interconnectedness and technical precision.

Entre  
CIENCIA  
e  
INGENIERIA  
4

Amanda Fernandes Pereira da Silva  
(Organizadora)

Atena  
Editora  
Ano 2022



Entre

# CIENCIA e INGENIERIA

4

**Amanda Fernandes Pereira da Silva**  
(Organizadora)

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

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

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

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



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



**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadora:** Amanda Fernandes Pereira da Silva

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

E61 Entre ciencia e ingenieria 4 / Organizador Amanda Fernandes Pereira da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-258-0586-3  
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.863221910>

1. Ciencia. 2. Ingenieria. I. Silva, Amanda Fernandes Pereira da (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

A coleção “Entre Ciencia e Ingenieria 4” é uma obra que compreende os processos sob os quais se desenvolve, aplica e divulga a ciência, tecnologia e a inovação. Seu objetivo consiste em difundir trabalhos científicos que abrange diversos campos da Ciência e Engenharia que compõem os capítulos.

O volume abordará de forma categorizada e clara pesquisas e publicações com o objetivo central de analisar processos que possam ser utilizáveis em projetos e/ou trabalhos futuros. Além disso, apresenta uma análise ao desenvolvimento de temáticas que envolvem a saúde pública e coletiva, área das engenharias e ciência.

Desta forma, esse material se torna bem interessante por constituir temas, conhecimentos acadêmicos desenvolvidos e discutidos por diversas instituições de ensino e pesquisa do país e fora do país. Por isso, para necessária compreensão comum e explicitar trabalhos de forma altamente eficaz, a Atena Editora é capaz de oferecer e difundir a transferência de conhecimento com os mais debates centrados da liderança da ciência e engenharia com esta mais nova coleção.

Amanda Fernandes Pereira da Silva

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

ACTIVIDAD ANTI-CHIKUNGUNYA DE LOS ACEITES ESENCIALES DE PLANTAS PERTENECIENTES A LAS FAMILIAS VERBENACEAE, PIPERACEAE, POACEAE, LAMIACEAE, LAURACEAE Y MYRTACEAE: ESTUDIOS DE DOCKING MOLECULAR

Liliana Amparo Betancur-Galvis

Orlando José Jiménez Jarava

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219101>

### **CAPÍTULO 2..... 24**

CATALYTIC PYROLYSIS OF WASTE EXPANDED POLYSTYRENE TO OBTAIN STYRENE

Gerardo Pérez-Bravo

José Luis Contreras Larios

Jorge Francisco Rodríguez

Beatriz Zeifert

Tamara Vázquez Rodríguez

Jesús Eduardo Estrada Pérez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219102>

### **CAPÍTULO 3..... 37**

EL GÉNERO Y SU IMPACTO EN EL NIVEL DE BURNOUT DE LOS DIRECTIVOS DE MIPYMES DE ALIMENTOS Y BEBIDAS EN EL ESTADO DE SONORA

Jesús Martín Cadena Badilla

Arturo Vega-Robles

Agustín Mejías Acosta

Joaquín Vásquez Quiroga

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219103>

### **CAPÍTULO 4..... 53**

ESTUDIO SOBRE LA APLICABILIDAD DE LOS RESIDUOS EN LA PRODUCCIÓN DE GEOPOLÍMEROS PARA USO EM HORMIGÓN

Laryssa Oliveira Bento

Thamila Barroso de Moura Alves

Amanda Fernandes Pereira da Silva

Crisnam Kariny da Silva Veloso

Alisson Rodrigues de Oliveira Dias

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219104>

### **CAPÍTULO 5..... 62**

ANÁLISIS MORFODINÁMICO DEL RÍO SINÚ ANTES Y DESPUES DE LA OPERACIÓN DE URRÁ I

Germán Vargas Cuervo

David Leonardo Valbuena Gaviria

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219105>

**CAPÍTULO 6..... 80**

**MEJORA DE PROCESO APLICANDO HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA**

Esteban Rubio Ochoa  
Laura Isela Padilla Iracheta  
Jaime Eduardo Trejo Aguirre  
Irving Torres Quezada  
Jesús Eduardo Ramírez Delgado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219106>

**CAPÍTULO 7..... 92**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTRUCTURA MÓVIL ENFOCADA A UN ROBOT DE RESCATE**

Martha Isabel Aguilera Hernández  
Juan Antonio Algarín Pinto  
Daniel Medina Romero  
Manuel Ortiz Salazar  
José Luis Ortiz Simón  
Raúl Francisco Aguilera Hernández  
Gustavo Rojo Velázquez  
Daniel Olivares Caballero

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219107>

**CAPÍTULO 8..... 110**

**PROYECTO MERCURIO CERO. REMOCIÓN DE MERCURIO MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN, EN MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO ARZOBISPO CUENCA MEDIA**

Luis Eduardo Peña Prieto  
Adriana Alméciga Gómez  
Rafael Meza Benitez  
Xiomara Jiménez Muñoz  
Johanna Bonilla

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219108>

**CAPÍTULO 9..... 123**

**REDUCTION OF WORKPLACE ACCIDENT RATES USING MATHEMATICAL STATISTICAL MODELS**

Ramón A. Pons Murguía  
Eulalia M. Villa González Del Pino

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219109>

**CAPÍTULO 10..... 130**

**SYSTEM MODELING RESEARCH PROJECT OF STUDENT'S GRADE POINT AVERAGE**

Juan Carlos González-Castolo  
Silvia Ramos-Cabral  
Sara Catalina Hernández-Gallardo  
Manuel Prieto-Méndez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.86322191010>

<b>SOBRE A ORGANIZADORA.....</b>	<b>145</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>146</b>

# CAPÍTULO 1

## ACTIVIDAD ANTI-CHIKUNGUNYA DE LOS ACEITES ESENCIALES DE PLANTAS PERTENECIENTES A LAS FAMILIAS VERBENACEAE, PIPERACEAE, POACEAE, LAMIACEAE, LAURACEAE Y MYRTACEAE: ESTUDIOS DE DOCKING MOLECULAR

*Data de aceite: 03/10/2022*

### **Liliana Amparo Betancur-Galvis**

Group of Investigative Dermatology (GRID),  
Institute of Medical Research, Medicine Faculty  
University of Antioquia, Carrera 51D # 62 – 29,  
Laboratory 219. Medellín A. A1226, Antioquia,  
Colombia

### **Orlando José Jiménez Jarava**

Group of Investigative Dermatology (GRID),  
Institute of Medical Research, Medicine Faculty  
University of Antioquia, Carrera 51D # 62 – 29,  
Laboratory 219. Medellín A. A1226, Antioquia,  
Colombia

**RESUMEN:** El acoplamiento molecular o “Docking” molecular, es una técnica *in silico* que predice las interacciones entre una proteína y moléculas pequeñas en función de la geometría y las fluctuaciones de la energía libre de enlace, para “hipotetizar” posibles mecanismos de acción de moléculas biológicamente activas. En este estudio, el acoplamiento de componentes mayoritarios y minoritarios de aceites esenciales (AEs) se realizó utilizando AutoDock Vina en el software de código abierto de proyección virtual PyRx (con secuencias peptídicas de la glicoproteína de envoltura madura del virus Chikungunya (CHIK)(PDB ID - 3N42). La actividad biológica antiviral de más de treinta AEs de especies de la familia Verbenaceae, Piperaceae, Poaceae, Lamiaceae, Lauraceae y Myrtaceae fue evaluada. Se utilizaron varias técnicas para la evaluación antiviral, la primera consistió en

un tamizado primario, para seleccionar AEs activos; y la segunda, propiamente evaluó la actividad virucidal, por técnicas cuantitativas, brevemente, los AEs y la suspensión viral CHIKV de  $10^6$  TCID<sub>50</sub>/0,25mL o  $10^9$  TCID<sub>50</sub>/0,25mL se mezclaron (0.2% V/V) y se incubaron durante 45-60 minutos a temperatura ambiente. Luego, la mezcla se diluyó 100 veces, antes de agregarse a las células en diluciones logarítmicas seriadas, y la actividad virucidal se reportó en rangos de valores de Log *Rf* (de 1-6). Según la escala de Log *Rf*, el estudio de “Docking” molecular, el coeficiente de partición, y propiedades químicas como aceptores de puentes de hidrogeno y enlaces de resonancia, se interpretó el potencial virucidal. Al igual que la “regla de Lipinski”, para la biodisponibilidad oral, las anteriores propiedades de los componentes mayoritarios y minoritarios constituyentes *in situ* de los AEs activos, nos ayudaron a establecer varios criterios empíricos que deben cumplir los AEs, a los cuales se les predice un alto potencial virucidal.

### **INTRODUCCIÓN**

La fiebre chikungunya es una enfermedad causada por el virus Chikungunya (CHIKV), arbovirus envuelto de genoma ARN positivo de cadena simple, el cual pertenece a la familia Togaviridae. A nivel mundial, ésta enfermedad es endémica en África, sudeste de Asia e India; descrita por primera vez durante un brote ocurrido en el sur de Tanzania en 1952. En Colombia, el primer caso autóctono de chikungunya se identificó en el 2014. Durante

el resto del año 2014, se notificaron 106.592 casos, pero en el 2015 se presentó el pico epidemiológico con 358.974 casos reportados (1). Las manifestaciones clínicas, son muy variadas, los síntomas van desde leves y muy similares a los de la influenza; pero en algunas personas adultas, se presenta dolor en las articulaciones por meses, y en adultos mayores, débiles o inmunosuprimidos, la enfermedad puede llevar a la muerte (2). También se han reportado casos de Guillain-Barre, Síndrome cerebeloso, convulsiones, miocarditis, retinitis, neuropatías, oftalmoplejías y meningoencefalitis (2).

Uno de los grandes retos para la comunidad científica del siglo XXI, es tener al orden del día tratamientos oportunos para las infecciones emergentes de fácil contagio, como son las virales. Por lo anterior, “la búsqueda de agentes antivirales efectivos de amplio espectro”, es indispensable en especial contra virus emergentes, como el CHIK, en este caso por la inexistencia de vacunas. Los aceites esenciales (AEs), poseen propiedades biológicas de amplio espectro, entre éstas está la propiedad antiviral contra virus envueltos (3). Los componentes presentes en los AEs interfieren posiblemente con las estructuras de la envoltura del virión, enmascarando así las proteínas de la envoltura viral, que son necesarias para la adsorción y la entrada a la célula huésped. El AE comercial más conocido como agente antiviral es el aceite de árbol del té (TTO), que se extrae de las hojas de *Melaleuca alternifolia* (Myrtaceae). El TTO australiano se comercializa bajo un estándar dado por organizaciones internacionales de control, a países que se acogen a las Normas ISO (ISO 4730 para el AE de TTO), con las siguientes especificaciones de componentes principales: Terpineno-4-ol (30-48%), Gamma-Terpineno (10-28%), Alpha-Terpineno (5-13%), 1,8-Cineol (hasta 15%), Terpinoleno (1,5 a 5 %), p-Cimeno (0,5 a 12 %), Alpha-Pineno (1 a 6 %) y Alpha-Terpineol (1,5 a 8 %) (4). En el presente estudio se evaluaron varios AEs extraídos de plantas aromáticas, principalmente recolectadas en Colombia. La actividad antiviral fue evaluada inicialmente por técnicas de tamizado primario, para proceder con los aceites más activos a evaluaciones cuantitativas de actividad anti- Chikungunya; y poder asociar la actividad virucidal con la composición de los aceites teniendo como control positivo un AE de *Melaleuca alternifolia*. Finalmente, se realizaron estudios de acoplamiento o “Docking” molecular a los AEs más activos, utilizando secuencias peptídicas de varios “bolsillo de unión” de las glicoproteínas de envoltura, principalmente pE2 del CHIK como diana terapéutica, para asociar la actividad con la composición química del aceite.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Aceites esenciales

De la familia Lamiaceae se evaluaron los AEs de las especies: *Hyptis mutabilis* (Albahaca del campo), *Lepechinia betonicifolia* (Matico), *Lepechinia bullata*, *Lepechinia conferta*, *Lepechinia vulcanicola*, *Lepichinea salvifolia*, *Minthostachys mollis* (Kunth) Griseb (Cruz de Muña), *Ocimum americanum* (Albahaca), *Thymus vulgaris* (Tomillo),

*Rosmarinus officinalis* (Romero); Poaceae -*Cymbopogon nardus* (Citronela), *Cymbopogon martini* (Palmarosa), *Cymbopogon citratus* (Limonaria); Verbenaceae -*Lippia origanoides* (Orégano de monte), *Lippia alba* (Pronto alivio), *Lippia citriodora* (Cedrón); Lamiaceae -*Salvia aratocensis* (Salvia); Piperaceae - *Piper bogotense* (Cordoncillo). Estas plantas fueron recolectadas en Colombia por la EMPRESA CENIVAM (con permisos de recolección de las plantas endémicas por resoluciones de licencias No 0041-2008 y 0390-2008 concedidas por el Ministerio de Ambiente). Durante proyectos conjuntos que se realizaron interinstitucionales con CENIVAM, en la última década, se conformó un “Banco de AEs” por parte del grupo GRID de los AEs de estas especies, conservados a -80°C. Los AEs de plantas aromáticas Europeas comerciales, fueron donados por Carmen Orozco, distribuidora en Colombia, de la EMPRESA “doTERRA- Essential Oils Company”, con la información del análisis cromatográfico GC-MS, a quien se le solicitó la siguientes especies: Myrtaceae -*Eucalyptus radiata* (Eucalipto), *Malaleuca alternifolia* (Melaleuca), *Eugenia caryophyllata* (Clavo); Burseraceae -*Boswellia spp* (Incienso); Lamiaceae - *Rosmarinus officinalis* (Romero), *Ocimum basilicum* (Albahaca), *Thymus vulgaris* (Tomillo), *Origanum vulgare* (Orégano), *Lavandula angustifolia* (Lavanda); Lauraceae - *Cinnamomum cassia* (Canela); Fabaceae -*Copaiba spp* (Copaiba); Apiaceae -*Foeniculum vulgare* (Hinojo); Poaceae -*Vetiveria zizanioides* (Vetiver); Zingiberaceae -*Curcuma longa* (Cúrcuma).

## Cultivo celular, virus y ensayos antivirales

El virus Chikungunya (CHIKV) fue donados por el INS (Instituto Nacional de Salud-Colombia). Los virus se amplificaron y titularon en células Vero E6 (células de riñón de mono verde africano-*Cercopithecus aethiops*, ATCC CRL-1586), mediante ensayo de placa y se titularon tanto por Unidades Formadoras de Placa (UFP/mL), como por DICT<sub>50</sub>/mL (Dosis Infecciosa de Cultivo celular con efecto citopático del 50%). Los ensayos antivirales de tamizado primario se realizaron según los protocolos estandarizados por el grupo de investigación, y que se encuentran reportados en varias de nuestras publicaciones (3,5).

## Ensayo de actividad virucidal

La actividad antiviral virucidal de los AEs contra el CHIKV se realizó en células Vero E6 y se llevó a cabo utilizando la técnica de titulación de punto final (EPTT). Los AEs y la suspensión viral de 10<sup>6</sup> DICT<sub>50</sub>/0,25 mL o 10<sup>9</sup> DICT<sub>50</sub>/0,25 mL, se mezclaron (0,2 % v/v) e incubaron durante 45 a 60 minutos a temperatura ambiente. Las células se sembraron en placas de 96 pocillos a una densidad de 2 x 10<sup>4</sup> células/pocillo a 37 °C en atmósfera húmeda al 5% de CO<sub>2</sub>, hasta alcanzar el 80% de la monocapa celular. Antes de agregar la mezcla a las células, se diluyó 100 veces en DMEM sin suero bovino fetal (FBS) y se procedió a realizar cuatros diluciones logarítmicas. Luego, los platos de cultivos se incubaron de nuevo a 37°C en atmósfera humedad con 5% de CO<sub>2</sub> durante 2h. A continuación, la mezcla de virus/AE se retiró de la monocapa celular y se reemplazó por

DMEM suplementado con FBS al 2 % que contenía carboximetilcelulosa (CMC) al 0,25 %. Después de 48h de incubación, las monocapas celulares se tiñeron con una solución de formaldehído al 3,5% con cristal violeta al 0,2%. La reducción del título viral, causada por el AE, se calculó comparando lo con el control viral (el título viral, para la comparación contempló ocho diluciones logarítmicas; hasta no observar efecto citopático, es decir no formación de placas virales). La concentración virucidal no citotóxica del 99% de inhibición (VC99), se definió como la concentración requerida para inactivar el 99% de los viriones, no mostrando efecto citopático, ni formación de placa de lisis celular. Se realizaron dos experimentos independientes con replicas por triplicado para cada dilución del AE. Los controles incluyeron células no tratadas, células tratadas con solo el AE, células infectadas. Se incluyeron controles positivos como Heparina y AE de *Melaleuca alternifolia*. La actividad antiviral relevante o moderada, fue aquella que redujo el título viral por lo menos dos unidades logarítmicas.

### **Acoplamiento molecular/Estudio in silico**

El análisis ya ha sido publicado (5); brevemente, el acoplamiento molecular se realizó utilizando el programa AutoDock Vina, con el software de código abierto. Tres secuencias peptídicas de las glicoproteínas de unión del virus de CHIK, fueron estudiadas. En el primer dominio de unión publicado por Phuong y colaboradores (6), se tomaron los aminoácidos Asp43, Ile136, Arg144 y Arg267 del “bolsillo de unión 2” del residuo E2 de la estructura madura de las glicoproteínas obtenida en su forma cristalina y reportadas en las bases datos de proteínas (<https://www.rcsb.org>) en formato .pdb con código 3N42 (PDB id: 3N42), con una resolución de 3,0 Å. El segundo dominio de unión compuesto por los siguientes residuos aminoácidos: Phe6, Val8, Tyr9, Met97, Gly98, His99, Phe100, Thr160, Ala162, Ile255, His256, Ile257 y Pro258, se obtuvo por predictor de sitios activos Online <https://prankweb.cz> (Universidad Republica Checa), localizados en los sitios de unión de la cadena B (glicoproteína E2), producto de haber retirado: la cadena A, que corresponde a la glicoproteína E3; la cadena F, que corresponde a la glicoproteína E1; y la cadena C, que corresponde al inhibidor asociado a la proteína; al haberlo tratado con el software de visualización “UCSF Chimera 1.15” para eliminar todos aquellos interferentes ya mencionados: las cadenas proteicas que no hacen parte del bolsillo, disolventes presentes en el momento de la cristalización, cofactores y moléculas químicas externas presentes en la proteína. Para el tercer dominio de unión publicado por Phuong y colaboradores (6), se procedió igualmente que para el dominio 1, procedimientos ya publicados (6); donde se tomaron los aminoácidos Pro128, Arg36 y Tyr237 del “bolsillo de unión 1” del residuo E2. Los ligandos (monoterpenos, entre otros) se seleccionan manualmente con un texto de configuración, con todos los parámetros, como: “Tamaño de GridBox (X:24, Y:20, Z:22)” y “Centro (X: -47.67, Y: -12.41, Z: -21.45) para el dominio de unión 2, “Tamaño de GridBox (X:26, Y:18, Z:16)” y “Centro (X: -31.60, Y: -18.33, Z: -22.968) para el dominio de unión 3;

“Tamaño de GridBox (X:16, Y:20, Z:18)” y “Centro (X: -25.40, Y: 4.42, Z: -10.03) para dominio de unión 1, y exhaustividad (siempre 20)”. También se usó el software libre Avogadro 1.2.0 para la minimización de ligandos (energía de campo: mmf94 y conformación 3D), ajustes de pH (pH fisiológico 7,4), y “Discovery Studio 2021 Client” para la visualización del complejo proteína-ligando y las interacciones débiles que estabilizan el ligando con el sitio de unión de las tres secuencias peptídicas evaluadas. Todas las moléculas “ligando” hacen parte de la composición de los aceites esenciales evaluados, y se obtuvieron de la base de datos Pubchem <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los AEs fueron evaluados inicialmente utilizando la técnica de tamizado primaria, que consiste brevemente, en mezclar los aceites con una concentración no superior a 200ug/mL y “Diez dosis infecciosas de cultivo celular cincuenta (10 TCDI<sub>50</sub>/0,25 mL) (3,5), para incubar por 15 minutos a medio ambiente. Esta mezcla se agrega en diluciones seriadas dobles al cultivo celular, y se incuba por 48 horas, en las condiciones de cultivo celular especificadas en la parte experimental. Terminado el tiempo de incubación, se tiñen las placas de cultivo y se procede a la evaluación al microscopio, comparándolo con controles celulares, controles virales y controles de citotoxicidad de los AEs evaluados. El criterio de selección para los AEs “activos” fue la concentración (12.5ug/mL), la no citotoxicidad, y la reducción del título viral al menos dos unidades logarítmicas.

Los AEs que cumplieron el criterio fueron, de los AEs de CENIVAM (datos no mostrados): *Hyptis mutabilis*, *Lepechinia betonicifolia*, *Lepechinia salvifolia*, *Lepechinia vulcanicola*, *Mintostachys mollis*, *Ocimum americanum*, *Rosmarinus officinalis*, *Salvia aratocensis subsp. Suratensis*, *Thymus vulgaris*, *Cymbopogon nardus*, *Cymbopogon martini*, *Cymbopogon citratus*, *Lippia citriodora*, *Piper bogotense*; AEs de doTERRA, *Eucalyptus radiata*, *Malaleuca alternifolia*, *Eugenia caryophyllata*, *Boswellia spp.*, *Rosmarinus officinalis*, *Ocimum basilicum*, *Thymus vulgaris*, *Origanum vulgare*, *Lavandula angustifolia*, *Cinnamomum cassia*, *Copaiba spp* y *Foeniculum vulgare*. De éstos AEs, los que pasaron a la segunda evaluación experimental, actividad virucidal, fueron aquellos que tenían la composición química completamente dilucidada; y de las especies repetidas, se eligieron los AEs de doTERRA por tener más del 98% de la composición química publicada ([www.sourcetoyou.com](http://www.sourcetoyou.com)). Muchos de los AEs “activos” provenientes de CENIVAM, ya habían mostrado actividad anti-herpética; y tanto su composición química y/o su actividad antiviral utilizando la técnica de tamizado primario, se encuentran publicados (7-11). Los resultados del tamizado primario anti-CHIKV (datos no mostrado), realizados en el presente estudio con virus de genoma diferente a los herpesvirus, nos lleva a pensar en la actividad de amplio espectro de éstos AEs.

Para la evaluación de la actividad virucidal, se definió la concentración virucida del

99% (VC99), como una concentración no citotóxica que inactiva el 99% de los viriones, sin observar efecto citopático cuando se analiza al microscopio óptico (concentración que determina el valor del factor de reducción viral (Rf)). Se realizaron dos evaluaciones con diferentes títulos virales, una de ellas a concentración de  $10^6$  TCID50/0.25 mL para determinar AE activos con potencial medio, y otra a concentración de  $10^9$  TCID50/0.25 mL, para clasificar los AE con alta actividad virucidal. Se utilizó el AE comercial de *Malaleuca alternifolia*, donado por doTERRA, como control positivo para los AEs; que en general mostró un Log Rf de 3 (esto significa que redujo el título viral mil veces comparado con el título viral) (ver Tabla 1). También se utilizó Heparina como control positivo, pero fue menos activo que el AE de *M. alternifolia*. Las concentraciones finales de los AE evaluados en el cultivo celular fueron de 1, 0.1 y 0.01 ppm (partes por millón); estas concentraciones no fueron citotóxicas durante las dos horas de incubación, al no observar se a través del microscopio cambios morfológicos. De las dos réplicas experimentales realizadas, se eligió la réplica que mostró el valor de actividad más bajo (Tabla 1). Según la composición química, los AEs fueron clasificados en tres grupos (ver Tabla 2, 3, 4). Los experimentos de actividad virucidal para cada grupo de AEs se realizaron simultáneamente, con el fin de reducir la variabilidad experimental y poder comparar la actividad virucidal y asociar la a los componentes comunes (análisis cromatográfico GC-MS). Las composiciones de los AEs descritos en las Tablas 2,3,4 no contemplan el total de la composición química publicada en los diferentes artículos (7-11; [www.sourcetoyou.com](http://www.sourcetoyou.com)); pero en las tablas se encuentran especificadas las referencias citadas para cada AE de CENIVAM, lo mismo para los AEs de doTERRA (con sus códigos DI de Calidad, para que se pueda hacer la búsqueda en la página web [www.sourcetoyou.com](http://www.sourcetoyou.com)) de la empresa.

El grupo A, lo conformaron los AEs de: Albahaca (*Ocimum basilicum*), Canela (*Cinnamomum cassia*), Clavo (*Eugenia caryophyllata*), Copaiba (*Copaiba spp.*), Tomillo (*Thymus vulgaris*), Orégano (*Origanum vulgare*), *Ocimum campechianum* (OC1), *Mintostachys mollis* (MEO1) y *Minthostachys mollis* (Kunth) (MEO2). El AE del Orégano y MEO1 redujeron el título viral más alto (Tabla 1), en comparación a todos los aceites evaluados, observándose hasta un Log Rf de seis, a concentraciones mayores de 1 ppm; es decir que una exposición hasta 60 minutos al 0.2% v/v del AE podría reducir hasta un millón de veces la carga viral, en una superficie o fómite. El siguiente AE más activo fue el AE de Tomillo, que mostró Log Rf de 5. El orden de actividad de éste grupo de AEs fue: MEO1, Orégano > Tomillo > Clavo > Albahaca, Canela > O. campechianum > M. mollis (MEO2). El AE de Copaiba fue clasificado como no activo.

Antes de analizar la composición química de los AEs (Tabla 2, 3 y 4), brevemente se clasificarán los componentes según su estructura química. Los AEs son mezclas complejas de más de cien constituyentes químicos volátiles biosintetizados por las plantas, que incluyen principalmente dos grupos relacionados: los terpenos/ terpenoides y el otro lo constituyen los compuestos alifáticos; todos caracterizados por su bajo peso molecular. El

grupo principal comprende, en general: monoterpenos de hidrocarburos acíclicos alquenos (Mirceno, Ocimeno), monoterpenos oxigenados acíclicos alquenos (Linalool, Citronelol, Citronelal, Nerol, Neral, Geraniol, Geranial), monoterpenos de hidrocarburos monocíclicos alquenos (Limoneno, Felandreno), monoterpenos oxigenados monocíclicos alquenos (Timol, Terpeneol, Isopulegol), monoterpenos oxigenados monocíclicos (Mentol), monoterpenos de hidrocarburos bicíclicos (Thujano, Sabineno, Carano), monoterpenos oxigenados bicíclicos (Cineol, Fenchone, Sabinol), sesquiterpenos de hidrocarburos acíclicos (Farnesano, Farneseno), sesquiterpenos oxigenados acíclicos (Farnesol, Nerediol), sesquiterpenos de hidrocarburos monocíclicos (Humeleno, Bisoboleno), sesquiterpenos oxigenados monocíclicos (Bisobolol), sesquiterpenos de hidrocarburos bicíclicos (Chamazuleno), sesquiterpenos oxigenados bicíclicos (Santalol), sesquiterpenos de hidrocarburo tricíclicos (Aromadendreno), sesquiterpenos tricíclicos oxigenados (Patchoulol) (12). Con la anterior clasificación, muy general de los diferentes componentes que pueden constituir los aceites esenciales, se estudió la correlación de la actividad virucidal con los componentes principales de los tres grupos de AEs.

Rf	10 <sup>6</sup> TCID <sub>50</sub> <sup>c</sup>			10 <sup>9</sup> TCID <sub>50</sub> <sup>c</sup>		
	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup>
ppm	1	0.1	0.01	1	0.1	0.01
Essential Oils						
Albahaca				NA	NA	
Canela				NA	NA	
Clavo				NA		
Copaiba	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Tomillo				NA		
Oregano						
Eucalipto				NA		
Incienso	NA	NA		NA	NA	NA
Lavanda				NA	NA	NA
Hinojo	NA	NA		NA	NA	NA
Romero				NA	NA	NA
HM1	NA			NA	NA	NA
LVC1	NA			NA	NA	NA
LS7				NA		
Cedron10	NA			NA	NA	NA
Cedron 11				NA	NA	
OC1	NA			NA	NA	NA
MEO1						
MEO2	NA	NA		NA	NA	NA

Melaleuca	NA			NA	NA	NA
Heparin	NA	NA		NA	NA	NA

Tabla 1. Actividad Virucidal de AEs de DoTERRA y CENIVAM

Los AEs del Grupo A presentaron los siguientes componentes principales (Tabla 2): Albahaca (71.6% de Linalool y 1,8-Cineol), Canela (89.2% de Trans-Cinnamaldehído y 2-Methoxycinnamaldehído), Clavo (94.0% de Eugenol y Acetato de Eugenol), Copaiba (73.6% de Beta-Cariofileno, Alpha-Humuleno y Trans-Alpha-Bergamoteno), Tomillo (73.17% de Timol, Gamma-Terpineno y P-cimeno), Orégano (74.2% de Carvacrol), *Ocimum campechianum* (66.9% de Metil Eugenol y Beta-Cariofileno), *Mintostachys mollis*/MEO1 (70,6% de Beta-Cariofileno, Pulegona, Germacreno-D, Mentona y Bicyclgermacreno), y *Minthostachys mollis* (Kunth) /MEO2 (71.3% Cis-Piperitona epóxido, Óxido de Piperitona, Germacreno-D, Mentona y Bicyclgermacreno). Los componentes que correlacionaron con la mayor actividad de este grupo, fueron: Carvacrol y Timol, como componentes principales del Orégano y Tomillo. El estudio realizado por Mediouni y colaboradores (2020) proporciona muchas herramientas para orientar la discusión sobre la actividad virucidal de los AEs, aquí estudiados (13). Ellos encontraron que la actividad anti-VIH-1 (Virus de la Inmunodeficiencia Humana) del Orégano, depende tanto de la composición de sus AEs como de la envoltura del virus; los AEs son más activos sobre virus envueltos. La concentración inhibitoria 50 (IC<sub>50</sub>%) anti-VIH-1 fue de 0.33 % v/v del AE de Orégano (de origen italiano) con composición, en orden de mayor a menor concentración de: P-Cimeno, Gamma-Terpineno, Carvacrol, Timol, Alpha- Pineno, Linalool, Beta-Cariofileno, 1,8 Cineol y Limoneno (13). Ellos evaluaron varios aceites de Orégano comercial procedentes de Italia, los cuales mostraron actividades similares anti-VIH-1 (13); lo que posiblemente indica que los componentes de estos aceites, independientemente de su porcentaje en el AE de Orégano, le confieren cierta “actividad antiviral estable”, sus componentes minoritarios. Ellos, también encontraron que, para estos dos componentes, Carvacrol y Timol, y sus mezclas, la actividad anti-VIH-1 se explicaba como una actividad virucidal, donde dichos componentes inactivaban el sitio de unión del virus (péptido de unión de la glicoproteína viral gp120) a su cedula huésped (13). Una década anterior, Lai y colaboradores, en el 2012, igualmente habían mezclado Carvacrol o Timol (a una concentración de 100µM/ aproximadamente 15µg/mL) con 100UFP de Herpes Virus Humano tipo 1/HHV-1 durante una hora; y luego las partículas virales fueron visualizadas en un microscopio electrónico de transmisión JEM-2000EX II, mostrando que aproximadamente el 79% y el 95% de las envolturas virales se rompieron después del tratamiento con Carvacrol o Thymol, respectivamente; estos resultados fueron consistentes con la actividad virucidal “in vitro” evaluada por ellos (14). Mediouni (13), Shah (2020) (15), y Bahr ( 2021) (16) demostraron, con virus diferentes, la importancia del colesterol en la infectividad de los virus envueltos;

y que los componentes de los AEs, principalmente el Carvacrol, cambia la proporción de colesterol presente en la envoltura viral (o membranas celulares), variando la densidad de la partícula viral, haciéndolas más frágiles, cambiando la conformación de los péptidos de unión, presentes en las proteínas/ligando de la envoltura bilipídica viral. La acción causada por el Carvacrol y Timol sobre la partícula viral del virus herpes, también corrobora la idea que “para romper la envoltura viral” debe de haber cierta lipofiliencia compatible a la bicapa-lipídica viral, lo que nos lleva a pensar también en clasificar los componentes según esta propiedad fisicoquímica.

Meneses y colaboradores, en el 2009 (17) encontraron que el AE de *Origanum vulgare* L., con composiciones de: Trans-Sabinene hidrato (21,0%), Timol (11,0%), Carvacrol metil éter (11,0%) y Gamma - Terpineno (5,2%), después de un tratamiento por 24h a una concentración de 100µg/mL con  $9.5 \times 10^4$  UFP del virus de la fiebre amarilla (YFV); mostró actividad virucidal del 100% cuando se adicionó en monocapas de células Vero a una multiplicidad de infección de 1 (MOI= 1), durante un período de 1h a 37°C, retirando el inóculo e incubando por 48h adicionales (17). En nuestro estudio, aunque las concentraciones de los AEs utilizadas estuvieron por encima de 100 µg/mL (> diez veces más); y la actividad virucidal se evaluó con concentraciones virales hasta mil veces superiores a  $9,5 \times 10^4$  UFP, y en un tiempo de tratamiento mucho más corto (60 minutos a temperatura ambiente); la actividad virucidal contra CHIKV fue demostrada con diferentes niveles de “potencialidad” virucidal. La composición del AE de Orégano evaluado por Mediouni y el evaluado por Meneses y colaboradores, muestran una composición química diferente; y sin embargo se encontró actividad virucidal contra virus diferentes. Lo que nos hace pensar que la actividad virucidal de los AEs evaluados en este estudio, también podrían ser de amplio espectro como lo publicado anteriormente por nuestro grupo de investigación (7), para algunos de los AEs evaluados aquí; y podrían también depender tanto de la presencia de ciertas moléculas activas, como del sinergismo en composición química y porcentual, de componentes mayoritarios o minoritarios. Desde ésta hipótesis, se entrará a discutir la composición química de los AEs según sus tipos de monoterpenos y/o sesquiterpenos, para correlacionar los con la actividad virucidal; y para estudiar la interacción específica sobre péptidos de unión en las proteínas de envoltura, como lo ha demostrado Mediouni y colaboradores con el virus VIH-1, se echará mano de la herramienta *in silico* como es el “Docking molecular”. En este estudio, para el “Docking” molecular se escogieron tres tipos de dominios de unión, de péptidos importantes, que hacen parte de la proteína pE2 de la envoltura del virus CHIK, con algunas variaciones a la reportada por Phuong y colaboradores (6).

Correlacionando los resultados de la Tabla 1, que nos da información sobre la “potencia” virucidal de los AEs, con los de composición química de los AEs para el grupo A (Tabla 2); encontramos que los AEs de Oregano, Tomillo y *Minthostachys mollis*/MCO1 obtuvieron el mayor valor de Log *Rf*, contemplando la siguiente composición en común:

Carvacrol, Timol, Gamma-Terpineno, P-Cymene, Beta-Cariofileno y Linalool (principalmente para los AEs de Orégano y Tomillo). Comparando éstos componentes del AE de Orégano de *doTERRA*, vemos que también hacen parte de los constituyentes principales de los AEs de Orégano evaluados por Mediouni y colaboradores (13). La composición química de estos componentes, son principalmente: monoterpenos oxigenados monocíclicos aromáticos (Carvacrol y Timol), monoterpenos de hidrocarburos monocíclicos alquenos (P- Cimene, Gamma-Terpineno), sesquiterpeno dienos no conjugados (Beta-Cariofileno) y monoterpeno oxigenado acíclico dieno no conjugado (Linalool). En el estudio de “Docking” molecular con los tres dominios de unión de la proteína de CHIKV, estos componentes mostraron valores de energías libres en el rango de -4.8 a -5.8 Kcal/mol; excepto para el Beta-Cariofileno que mostró un valor de -6.7 Kcal/mol con el péptido de la secuencia proteica Dominio 1. La afinidad de unión, con la mejor energía de interacción liberada (6.7 Kcal/mol), nos dice que éste componente también puede ser importante para la actividad virucidal, ya que superó los valores obtenidos por Carvacrol y Timol. Estudios *in silico*, de esta magnitud, con el interés de buscar protagonismo de los componentes de los AEs en la actividad antiviral, han sido realizados recientemente por Silva y colaboradores (18); quienes reportan en sus tablas, los valores de dichos componentes que arrojó el estudio de “Docking” molecular, con el dominio de unión de la proteína de la espícula del SARS-CoV-2 (importante secuencia peptídica para la unión al receptor ACE2). Comparando estos valores con los nuestros, concluimos que la relación encontrada con la proteína de envoltura pE2 de CHIKV, no se da para el sitio de unión en la proteína de espícula del SARS-CoV-2 (17).

Haciendo el análisis de los AEs poco activos del grupo A, el que no mostró actividad virucidal fue el AE de Copaiba, el cual presentó los siguientes componentes mayoritarios: Beta-Cariofileno, Alpha-Humuleno, Germacreno D, Trans-Alpha Bergamoteno, Beta-Bisaboleno. La clasificación química de estos componentes, caen principalmente en sesquiterpenos monocíclicos y bicíclicos dienos conjugados o no; siendo el Beta-Cariofileno el componente de mayor proporción (58.7%) y de mejor energía libre (-6.7 Kcal/mol), lo que nos muestra que la correlación por componente principal y de mayor concentración, y mejor energía libre de interacción, no será los únicos factores de asociación con la actividad virucidal anti- CHIKV de este grupo de aceites. La presencia de otros tipos de compuestos, con propiedades químicas características como los compuestos monoterpenos cíclicos oxigenados aromáticos o alquenos, que gocen en su estructura química de sitios aceptores de puentes de hidrógenos, y de enlaces dobles resonantes o enlaces rotables, como se puede observar en el AE de *Mintostachys mollis*/MEO1; que es igualmente virucidal, con la misma potencia del AE de Orégano aquí estudiado. La composición química en sesquiterpenos cíclicos del AE de MEO1, en general, es muy similar al AE de Copaiba, pero adicionalmente tiene monoterpenos oxigenados monocíclicos: Pulegona, Neo-mentol, Mentona, Cis- Isomentona; que comparten con el Carvacrol y Timol, las propiedades químicas de ser aceptores de enlaces de hidrogeno y poseer enlaces rotables (datos

sacados de PubChem). Es de anotar que el segundo AE de *Mintostachys mollis* MEO2, aunque tiene composición química muy similar al MEO1, tiene dos monoterpenos en un alto porcentaje, mayor del 50% (Cis-piperitone epoxide, Oxide de Piperitona), que posiblemente hace que este aceite sea poco activo como virucida. Lo que se puede concluir del análisis, hasta ahora es; que, aunque es importante la actividad antiviral de los componentes principales, también se deben analizar los componentes minoritarios y la diversidad molecular de sus componentes. Tres grupos químicos, están siendo protagonistas de la actividad y de posible sinergismo, como son: 1) monoterpenos monocíclicos oxigenados alquenos o no (Carvacrol, Timol, Gama-Terpineol, Pulegona, Neo-mentol, Mentona, Cis-Isomentona), 2) Monoterpenos monocíclicos alquenos (Gama-Terpineno, alpa- Pineno, P-Cimeno) y un tercer grupo 3) conformado por sesquiterpenos cíclicos en general (Beta-Cariofileno, Alpha-Humuleno, Germacreno D, *Trans*-Alpha Bergamoteno). Y finalmente un grupo químico que posiblemente está asociado con efectos antagonistas, no sinérgicos como el Cis-piperitona epoxido y Oxide de Piperitona. Revisando los valores de energía libre de interacción con los dominios de unión de la glicoproteína de CHIKV (Tabla 2), se observa: para los componentes sesquiterpenos presentes en los tres AEs (Copaiba, MEO1, MEO2) valores de -5.3 a - 7.0 Kcal/mol; para los componentes monoterpenos monocíclicos oxigenados de MEO1, Pulegona, Neo-mentol, Mentona, el rango va de -5.3 a -6.7 Kcal/mol; y para los componentes de MEO2 de Cis-piperitona epoxido y Oxido de Piperitona presentaron el mismo valor de -5.5 Kcal/mol. El valor más alto de energía libre (-7.0 Kcal/mol) se obtuvo para el Alpha – Humeleno, componente que es común para los tres AEs. Lo que podemos concluir del análisis de estos tres AEs, es que la composición de monoterpenos monocíclicos oxigenados alquenos o no, hace la diferencia para el AE con mayor potencial virucidal; y que posiblemente están desempeñando un papel importante en el sinergismo de componentes minoritarios, los sesquiterpenos Beta-Cariofileno y Alpha-Humuleno. En cuanto al antagonismo de Cis-piperitona epoxido y Oxido de Piperitona, debe de presentarse otra característica fisicoquímica relevante, diferente al de aceptores de puentes de hidrogeno, y a la de energía libre de interacción con sitios peptídicos importante para bloquear la entrada del virus a su célula huésped; que los obligue a clasificarlos en un grupo químico desfavorable para la actividad virucidal. Analizando la lipofilicidad de estos dos compuestos se ha encontrado que tienen coeficiente de partición muy bajos, comparados con los otros tres grupos químicos.

Como el análisis en sílico de acoplamiento molecular, no está siendo suficiente para la asociación con respecto a los diferentes grupos químicos, para postularlos como sinérgicos o antagónicos; se adicionará al análisis, una herramienta farmacológica, que está asociada con la propiedad lipofílica de las membranas biológicas, como es el coeficiente de partición. Además, en vista del hallazgo acerca de la interacción de los componentes de los AEs con el colesterol en la envoltura de los virus envueltos (13), y con posiblemente las balsas lipídicas, que se requieren para la entrada de la partícula viral por endocitosis

a su célula huésped, en las primeras etapas del ciclo celular del virus CHIK (19); esta nueva herramienta nos aportará criterios adicionales para comprender las interacciones que se presentan con los componentes de los AEs y esas primeras etapas del ciclo viral, importantes para la propiedad virucidal. El coeficiente de reparto octano-agua se calculó usando la plataforma Web *SWISSADME*, cuyos valores obtenidos son muy aceptados por la industria farmacéutica, como herramienta de predicción farmacológica para la distribución de medicamentos a través de membranas biológicas bilipídicas. Para los monoterpenos monocíclicos oxigenados se obtuvieron los siguientes valores: Carvacrol (2.82), Timol (2.82), Pulegona (2.71), Mentona e Iso-Mentona (2.65); monoterpenos de hidrocarburos monocíclicos dienos conjugados o no, los siguientes valores: P- Cimeno (3.12), Gamma-Terpineno (3.31), Beta-Terpineno (3.31), Limoneno (3.31); y para los sesquiterpenos cíclicos alquenos Beta-Cariofileno (4.73), alpha-Humuleno (5.04), Germacreno D (4,89), Trans-Alpha Bergamoteno (4.73), Alpha Copaeno, Beta-bisaboleno (5.18). Los monoterpenos que tienen un efecto antagónico para la actividad virucidal como Cis-piperitone epoxide y Oxide de Piperitone mostraron un valor de 1.78. Analizando los valores obtenidos podemos ver que se mantiene la clasificación que realizamos inicialmente sobre los tres grupos de componentes químicos, indispensables para un hipotético sinergismo, principalmente con los sesquiterpenos que son muy afines a la parte completamente orgánica de la capa lipídica (valores de LogP > 4); y que los componentes antagónicos se mueven en un rango de LogP < 1.78. Con estas herramientas adicionales de análisis, continuaremos la discusión de los resultados obtenidos para el resto de AEs clasificados en el grupo A.

El AE de Clavo superó en actividad los AEs de Albaca y Canela (Tabla 1) reduciendo más de mil veces el título viral y considerándolo un agente virucidal de potencia media. Según la composición química (Tabla 2), dos grupos químicos están representados en el AE de Clavo, como se puede observar (entre paréntesis colocaremos el LogP): Eugenol (2.13), Acetato de Eugenol (2.37) y Chavicol (2,42) como monoterpenos monocíclicos oxigenados aromáticos; siendo el acetato de Eugenol el que tiene más sitios de unión para aceptar puentes de hidrogeno y enlaces rotables (3 y 5 respectivamente; datos sacados de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>). El tercer grupo químico, los sesquiterpenos cíclicos alquenos Beta-Cariofileno (4.73) y Alpha-Humuleno (5.04); faltando el segundo grupo químico como P- Cimeno, Gamma-Terpineno, Beta-Terpineno, Limoneno, para potenciar la actividad virucidal. El AEs de Albahaca, aunque tiene representación de los tres grupos: Timol (1.97%), Linalool (55.95%) grupo 1; Beta-Pineno (1.76%) y Beta-Elemento (1.65%) grupo 2; *Trans*-Alpha-Bergamoteno (3.43%) y Germacrene D (1.59%) grupo 3. La poca actividad del AE de Albahaca podría obedecer al muy bajo porcentaje del grupo químico 2; ya que el Linalol podría ser incluido en el grupo 1, por su valor de LogP de 2.65, y sus características químicas de aceptor de puentes de hidrogeno y de enlaces rotables (1 y 4 respectivamente). El AE de Canela, no contiene componentes del segundo grupo químico.

En el grupo B se incluyeron siete AEs: Eucalipto (con 92.0% de 1,8 Cineol,

Alpha-Terpineol y Limoneno ), Incienso (con 69.17% de Alpha-Pinene, Alpha-Thujene, Limonene), Melaleuca (con 75.73% de Terpinen-4-ol, Gamma-Terpinene, Alpha-Terpinene), Romero (65.1 % de 1,8- Cineol, Alpha-Pinene, Camphor), *Hyptis mutabilis* (con 54.8% de Fenchona, 1,8-Cineol, Beta-Cariofileno, Germacreno-D, Bicyclogermacreno), *Lepechinia Vulcanicola* (LVC1) (con 51.2% de Alpha-Pineno, Limoneno, Beta-Cariofileno, Germacreno-D, Bicyclogermacreno), *Lepechinia salvifolia* (LS7) ( con 52.0% de Pineno, Terpineno, Limoneno, Camphor, Campheno, Beta- Cariofileno, entre otros); con el orden de actividad virucidal siguiente: Eucalipto, *L. salvifolia* (LS7) > Romero > Melaleuca, *H. mutabilis* (HM1), *L. vulcanicola* (LVC1) > Incienso. La composición química del AE de *Eucalyptus radiata*, para los tres grupos químicos fueron: monoterpenos bicíclicos y monocíclicos oxigenados alquenos o no alquenos (88.35% de 1,8-Cineol, Terpinen 4-ol, Gamma- Terpeneol, Delta – Terpeneol) con valores de LogP de 2.5-2.74; monoterpenos de hidrocarburo alquenos monicíclicos (8.56 % de Limoneno, P-Cimeno, Alpha-Pineno, Beta-Pineno, Alpha-Terpineno, Beta-Terpineno, y Sabineno) con valores de LogP de 3-3.31. Sesquiterpenos cíclicos alquenos (con 0.42% de Beta-Cariofileno y Alpha- Humuleno) con valores de LogP entre 4.7-5. Elaissi y colaboradores (2012) (20), evaluaron AEs de 8 especies de *Eucalyptus*: *E. bicostata*, *E. cinerea*, *E. maidenii*, *E. odorata*, *E. sideroxylon*, *E. astringens*, *E. lahmmanii* y *E. leucoxylon* para la actividad virucidal contra el virus Coxsakievirus B3 (virus envuelto de ARN de cadena positiva). El AE de *E. astringens* mostró la mayor actividad (  $IC_{50} = 8.4$  mg/mL), y con respecto a su composición reportada, encontramos la siguiente clasificación de sus componentes: monoterpenos bicíclicos y monocíclicos oxigenados alquenos o no alquenos (51.8 % de 1,8-Cineol, *tr*-Pinocarveol, Alpha-Terpeneol, Terpinen 4-ol, P-Cimeno-8-ol, *trans*-1(7),8-*p*-Menthadien-2-ol, *Cis*-1(7),8-*p*-Menthadien-2-ol, Carvacrol); monoterpenos tricíclicos hidroxilados alquenos o no alquenos (9.4% Epiglobulol, Globulol, Viridiflorol, Spathulenol); monoterpenos de hidrocarburos alquenos monociclicos (24.4% de Limonene, P-Cimeno, Alpha-Pineno, Gamma-Terpineno). Según lo reportados por los autores ninguno de los AEs, presentaron trazas de Sesquiterpenos cíclicos alquenos (Beta-Cariofileno y/o Alpha-Humuleno). El AE de similar composición química que el *E. astringens* y con no actividad virucidal fue el AE *E. leucoxylon*, el cual presentó diferencia en la concentración de monoterpenos alquenos monocíclicos (no superior al 12%) (20). Un estudio muy similar comparando cuatro AEs de del genero Melaleuca (*M. ericifolia*, *M. leucadendron*, *M. armillaris* y *M. styphelioides*) con su actividad virucidal contra virus herpes (HSV-1) fue realizado por Farag y colaboradores (21); encontrado diferencias en la reducción del título viral de más de un millón de veces con el AE de *M. armillaris*. Haciendo el análisis de la composición química reportadas por ellos para los AEs de *M. leucadendron* y *M. armillaris*, cuyo componente principal, el 1,8 -Cineol, superaba el 33% para ambos; podemos sacar de nuevo conclusiones sobre la función de la diversidad química de carácter sinérgico, con el resto de la composición de esos AEs. Según la clasificación de los tres grupos químicos, se encontró las siguientes diferencias;

donde el AE de *M. leucadendron* no contenía componentes o eran trazas en comparación al AE de *M. armillaris* de: monoterpenos oxigenados aromáticos o alquenos (0.82% Vs. 18.79% de Terpineno 4-ol; 0.0% Vs. 0.42% de *trans*-Alpha dehidroterpineol y *cis*-Piperitol), monoterpenos alquenos monocíclicos o bicíclicos (0.57% Vs. 16.17% de Alpha- Terpineno y Gamma-Terpineno; 0.0% Vs. 0.50% de D- Elemeno y Apha- Cadineno), sesquiterpenos monocíclicos alquenos ( 0.0% Vs. 0.53% de D- Germacreno y Beta- Germacreno). Para el AE de Melaleuca de nuestro estudio, se encontró la siguiente composición: monoterpenos bicíclicos y monocíclicos oxigenados alquenos o no alquenos (61.03 % de 1,8- Cineol, Terpinen 4-ol, Alpha- Terpineol), monoterpenos de hidrocarburo alquenos monocíclicos (28,69 % de Alpha-Pineno, P-Cimeno, Alpha- Terpineno, Gamma- Terpineno), Sesquiterpenos cíclicos alquenos (4.49% de Bicyclogermacrene, Aromadendreno, *Allo*-Aromadendreno, Beta-Cariofileno y Alpha Humulene); la concentración de monoterpenos de hidrocarburo alquenos monocíclicos (fue superior al 12%).

El AE de *Lepichinia Salvifolia* (LS7), del grupo B, mostró actividad virucidal similar al del Eucalipto. El análisis de los componentes, se presentó con un poco más de diversidad química, sin presencia de los monoterpenos oxigenados aromáticos, citado en el análisis de los primeros AEs: monoterpenos oxigenados bicíclicos o tricíclicos alquenos o no, con sitios aceptores de puentes de hidrógenos 23.0% (Borneol, Ledol, Guaiol, Camphor, con rangos de LogP de 2,19-3.4); monoterpenos de hidrocarburos alquenos monocíclicos 42.1% (Alpha-Pineno, Beta-Pineno, P-Cimeno, Alpha- Terpineno, Gamma- Terpineno, Limoneno y P-Mentha-1(7),8-diene con rangos de LogP de 3.12 - 3.31), Sesquiterpenos cíclicos alquenos 9.2% (Aromadendreno, *Allo*-Aromadendreno, Beta-Cariofileno y Alpha Humuleno con rangos de LogP de 4.27- 5.04). Aunque el AE de *Lepichinia vulcanicola* (LVC1), presentó la misma composición química, y la sumatoria de sus porcentajes de los sesquiterpenos cíclico alquenos es del 26.8 %, que es superior al AE LS7 (9.2% de Aromadendreno, *Allo*-Aromadendreno, Beta-Cariofileno y Alpha- Humuleno); es el grupo químico 1, el que establece la diferencia: 0.5% Vs. 10.3% Camphor, 0.9% Vs. 4.4% de Ledol, 0.7% Vs. 2.2% de Guaiol; y por esto es posiblemente la causa de su poca actividad. La actividad de LVC1, es igual al AE de HM1, que tiene reducido el porcentaje de monoterpenos de hidrocarburo alquenos monocíclicos (12.5 % de Alpha-Pineno, Beta-Pineno, Limoneno); lo que sí se puede observar, en el AE de Romero donde el porcentaje de monoterpenos de hidrocarburo alquenos monocíclicos es de 22.44%. En los 8 AEs de Eucaliptus estudiados por Elaissi y colaboradores (2012) (20), la concentración de monoterpenos monocíclicos alquenos no superior al 12%, posiblemente definió la poca actividad virucidal de AE de *E. leucoxylo*n.

De nuestro grupo B de AEs, el AE de Incensio no fue activo como “potencial Virucidal”, solo redujo una unidad logarítmica el título viral (Tabla 1), por que posiblemente no se encuentra representado el grupo químico 1 de monoterpenos bicíclicos y/o monocíclicos oxigenados en un alto porcentaje (tan solo un 1.28%) (Tabla 3).

El grupo C de AEs consistió de cuatro AEs de especies como (Tabla 4): *Lippia*

*citriodora* (Cedrón), *Lavandula angustifolia* (Lavanda), *Foeniculum vulgare* (Hinojo); con el siguiente orden de actividad: Cedron (11) > Cedron (10) > Lavanda > Hinojo (Tabla 1). El AE de Hinojo presentó la siguiente composición: 77.76% de monoterpenos monocíclico oxigenados (trans-Anethole y Metil- Chavicol), 18% de monoterpenos de hidrocarburo alquenos monicíclicos (Alpha-Pineno y Limoneno), y de Sesquiterpenos cíclicos alquenos, sólo un componente, 0.03% de Beta-Cariofileno. De nuevo se comprueba en este grupo, la importancia que el AE contenga, componentes de la estructura química 3, donde estos compuestos presentan un alto coeficiente de partición (> 4.5) y una alta energía libre de interacción con la proteína de envoltura (> 6.7 Kcal/mol). El AE de Lavanda no presenta componentes del grupo químico 2, con propiedades químicas relevante en sus moléculas como son los sitios aceptores de puentes de hidrogeno y/o enlaces rotables, y/o una proporción de dichas moléculas mayor de 12.5%, y su Log P >3. Con los AEs de Cedrón, se presentó un análisis en sus componentes, muy similares con pocas diferencias (Tabla 4), pero ante la evaluación de la actividad “potencial” virucidal, con una gran diferencia en su actividad (Tabla 1); lo que hace pensar en un sinergismo con algún componente minoritario; lo que ameritó un estudio minucioso de sus componentes y porcentajes. Las diferencias más significativas observadas fue en el grupo químico 3 (5.6% para Cedrón (10) y 9.4% para el Cedrón (11)); el Biciclogermacreo no estuvo presente en el AE Cedrón (10), podemos entonces pensar que este compuesto puede ser la causa de la sinergia observada en el AE Cedrón (11). También se observaron diferencias en el grupo químico 2, monoterpenos de hidrocarburo monociclicos alquenos, Limoneno, Alpha-Pineno y Alpha -Curcumeno (11.7% para Cedrón (10) y 15.3% para el Cedrón (11)); aunque la mayor diferencia se presentó para el Limoneno y Alpha- Curcumeno, éste último tiene cuatro enlaces rotables. Analizando la posibilidad de efecto antagónicos con compuestos de coeficiente de partición con LogP <1.9; se encuentra que también hay diferencias con el 6-methyl-5-hepten-2-one (2.8% para Cedrón (10) y 1.5% para el Cedrón (11)). Estas diferencias pueden ser los suficientemente fuertes para mostrar la actividad virucidal cien veces más alta para el AE Cedrón (11).

Essential Oils Componentes %	Albahaca <sup>a</sup>	Canela <sup>b</sup>	Clavo <sup>c</sup>	Copaiba <sup>d</sup>	Tomillo <sup>e</sup>	Orégano <sup>f</sup>	OC1 Ref. 7	MEO1 Ref. 10	MEO2 Ref. 8	CHIKV/ Dominios de Unión De las proteínas de envoltura  (Kcal/mol)		
										I	II	III
Linalool	55.95				5.47	3.29	1.6		1.2	-4.8	-5.1	-4.8
Trans-Cinnamaldehyde		81.49								-5.9	-4.9	-5.0
Eugenol	2.2		81.74							-6.1	-5.5	-5.5
Carvacrol					3.5	74.2				-5.5	-5.8	-5.5
Methyl Eugenol							53.9			-5.6	-6.3	-5.7
Terpinen-4-ol					1.48	0.71				-5.7	-5.4	-5.6
pulegone								18.8	5.5	-6.1	-5.8	-6.1
Beta-Caryophyllene		0.12	4.4	58.71	1.79	1.76	13.0	17.9	4.5	-6.7	-6.3	-6.6
1,8 Cineole	15.67						3.0			-5.4	-5.3	-5.4
Thymol	1.97				46.21	1.29			0.9	-5.8	-5.6	-5.6
Eugenol Acetate			12.29							-6.5	-5.9	-5.9
Cis-piperitone epoxide									29.9	-5.5	-5.5	-5.5
Alpha-terpinene						1.05				-5.4	-5.3	-5.4
Gamma-terpinene					10.11	5.19				-5.4	-5.3	-5.4
P-cymene					16.85	4.48				-5.5	-5.4	-5.4
2-Methoxycinnamaldehyde		7.67								-5.7	-5.6	-5.4
Chavicol			0.13							-5.2	-5.2	-5.1
Caryophyllene oxide			0.21							-6.9	-6.7	-6.5
Piperitone Oxide									25.6	-5.5	-5.5	-5.5
Alpha-Humulene			0.5	7.24			3.3	4.3	1.1	-6.9	-7.0	-6.9
Germacrene-D	1.59			3.76			3.4	10.6	5.8	-6.3	-5.8	-6.2
Menthone								11.9	7.4	-5.3	-5.4	-5.4
Cis-isomenthone								1.4		-5.8	-5.5	-5.5
Bicyclogermacrene							2.2	11.3	2.6	-6.7	-6.4	-6.7
Trans-Alpha-Bergamotene	3.43			7.68						-6.1	-5.6	-6.1
Alpha-Bulnesene							5.4			-6.6	-6.7	-6.4
Alpha-Copaene		0.42	0.05	4.78						-6.7	-6.4	-6.5
Neo-menthol								6.3		-5.4	-5.4	-5.4
Trans-Cinnamyl Acetate		3.35								-5.6	-5.8	-5.7
Beta-Bisabolene				2.05		2.12				-5.7	-5.6	-5.5
Beta-Elemene	1.65			0.99			2.4	1.2		-6.4	-6.0	-6.4
Delta- Elemene								0.8		-4.7	-5.1	-5.9
Alpha-Pinene					1.16	0.49		0.8	0.5	-5.3	-5.2	-5.3

Beta-Pinene	1.76									-5.3	-5.2	-5.3
Beta-Selinene						2.7				-7.0	-6.9	-7.0
Borneol					0.82					-5.3	-5.3	-5.3
Limonene					0.36			0.7		-5.2	-4.9	-5.2
gamma.-Muuroleone								0.9		-4.8	-5.3	-6.2
Cis- Muurolo-4(14) dieno								0.7		-4.7	-5.3	-6.2
Espatuleno		0.1						0.7		-5.0	-5.1	-6.9
Epi- Cubenol								0.4		-4.6	-5.4	-6.5

a: Albahaca ID 171259. b: Canela ID 181949. C: Clavo ID 183378. d: Copai ID 182056 e. Timol ID 182334. f : Oregano ID 171778. .

Tabla 2. Composición Porcentual, Grupo A: de AEs *Ocimum basilicum* (Albahaca), *Cinnamomum cassia* (Canela), *Eugenia caryophyllata* (Clavo), Copaiba, Tomillo/ *Thymus vulgaris*, Orégano/*Origanum vulgare*, *Ocimum campechianum* (OC1), *Mintostachys mollis* (MEO1) y (MEO2). Análisis In Silico: Docking Molecular.

Essential Oils Componentes %	Eucalipto <sup>a</sup>	Incienso <sup>b</sup>	Melaleuca <sup>c</sup>	Romero <sup>d</sup>	HM1 Ref. 7	LVC1 Ref. 7	LS7 Ref. 7	CHIKV/ Dominios de Unión De las proteínas de envoltura (Kcal/mol)		
								I	II	III
Alpha-Pinene	0.96	48.39	2.21	11.91	3.8	8.2	6.9	-5.2	-5.4	-5.1
1,8 Cineole	78.79	0.2	2.58	41.56	12.6			-5.4	-5.3	-5.4
Terpinen-4-ol	0.69	0.68	44.84	0.82	0.3			-5.7	-5.4	-5.6
Gamma-Terpinene	0.46		18.27	0.96			6.7	-5.4	-5.3	-5.4
Alpha-Terpinene	0.12		8.62	0.84			2.1	-5.4	-5.6	-5.4
Delta-Terpineol	0.24							-4.4	-5.2	-5.8
Alpha-Terpineol	8.63	0.4	3.61	2.65				-5.3	-5.5	-5.3
Beta-Pinene	0.30	1.31	0.73	5.13	3.7		5.3	-5.3	-5.7	-5.3
Alpha-Thujene		11.02						-5.3	-5.4	-5.3
Limonene	4.47	9.76	0.88	2.69	4.8	18.9	9.7	-5.2	-4.9	-5.2
Fenchone					17.1			-5.5	-5.4	-5.5
Camphor				11.62	2.1	0.5	10.3	-5.3	-5.3	-5.3
Camphene				4.42			5.9	-5.1	-5.0	-5.1
Beta-Caryophyllene	0.31	1.32	0.4	4.38	10.9	8.7	5.1	-6.7	-6.3	-6.6
Germacrene-D		0.18			6.2	10.4		-6.3	-5.8	-6.2
Bicyclogermacrene			1.32		8.7	5.0		-6.7	-6.4	-6.7
1-Octen-3-ol						8.8		-4.3	-4.4	-4.3
Palustrol						7.4		-6.8	-6.6	-6.8
Delta-3-Carene						4.6		-5.4	-5.7	-5.4
P-Mentha-1(7),8-diene							7.4	-5.3	-5.5	-5.3
trans- P Mentha-1(7),8-dien-2-ol	0.13	0.28	0.23					-4.4	-5.0	-5.5
Delta-Cadinene						2.3		-6.4	-6.7	-6.4

Ledol						0.9	4.4	-6.8	-6.6	-6.9
Myrcene	0.66	3.23		1.56				-4.5	-4.3	-4.5
Octyl Acetate		3.95						-4.4	-4.6	-4.6
P-Cymene	0.97	3.1	1.59	1.91			4.0	-5.5	-5.4	-5.4
Sabynene	0.62	4.6			2.8			-5.0	-5.1	-4.9
Spathulenol					3.0	0.6		-7.1	-6.8	-7.1
Terpinolene			3.04				1.5	-5.7	-5.5	-5.7
Beta-Bourbonene					3.4			-6.4	-6.3	-6.4
Alpha-Phellandrene		1.55						-5.6	-5.6	-5.4
Alpha-Humulene	0.11	0,25	0.1	0.37	1.4	2.8	1.6	-6.9	-7.0	-6.9
Borneol	0.04			2.55	0.4			-5.3	-5.3	-5.3
Linalool		0.1		0.86			1.0	-4.8	-5.1	-4.8
Guaiol						0.7	2.2	-5.0	-5.7	-6.8
Aromadendrene			1.19	0.11			1.2	-4.7	-4.8	-6.8
Allo- Aromadendreno			0.58		0.4	0.3	1.3	-4.7	-4.9	-6.7

a: Eucalipto ID 1713012. b: Incienso ID 181253. C: Melaleuca ID 181177. d: Romero ID 171806 .

Tabla 3. Composición Porcentual, Grupo B: de AEs *Eucalyptus radiata* (Eucalipto), *Malaleuca alternifolia* (Melaleuca), Burseraceae -*Boswellia spp* (Incienso), *Rosmarinus officinalis* (Romero), *Hyptis mutabilis* (HM1), *Lepechinia vulcanicola* (LVC1), *Lepichinea salvifolia* (LS7). Análisis In Silico: Docking Molecular.

Essential Oils Componentes %	Lavanda <sup>a</sup>	Hinojo <sup>b</sup>	<i>Lippia citridora</i> (10) Ref 11	<i>Lippia citridora</i> (11) Ref 11	CHIKV/ Dominios de Unión De las proteínas de envoltura (Kcal/mol)		
					I	II	III
Linalool	34.23		0.8	0.7	-4.8	-5.1	-4.8
Linalyl Acetate	28.16				-5.0	-5.3	-5.2
Trans-Anethole		74.48			-5.3	-5.5	-5.3
Geranial			17.5	18.9	-5.2	-4.2	-4.8
Neral			15	15.6	-5.4	-4.5	-4.9
Limonene		9.07	8.4	10.7	-5.2	-4.9	-5.2
Byciclogermacrene				1.3	-6.7	-6.4	-6.7
Trans-Sabinene hydrate					-5.4	-5.1	-5.4
Alpha-Phellandrene					-5.6	-5.6	-5.4
Alpha-Pinene		8.93	0.5	0.7	-5.2	-5.4	-5.1
Sabinene					-4.1	-4.8	-4.0
Beta-Caryophyllene	3.25	0.03	2.6	2.3	-6.7	-6.3	-6.6
Alpha-Curcumene			2.8	3.9	-4.4	-4.8	-4.3
Beta-Bourbonene			0.7	0.8	-6.4	-6.3	-6.4
Alpha -Copaene			0.6	0.5	-6.7	-6.4	-6.5

Alpha- Gurjunene					-4.8	-4.9	-4.8
1,8-Cineole*			3.6	5	-5.4	-5.5	-5.4
Lavandulyl Acetate	5.17				-5.2	-5.1	-5.2
Cis-Beta-Ocimene	4.61				-5.1	-4.8	-5.1
Terpinen-4-ol	4.01				-5.7	-5.4	-5.6
6-methyl-5-hepten-2-one			2.8	1.5	-5.0	-4.7	-4.5
Geraniol			4.4	2.7	-4.8	-4.7	-4.7
Nerol			5.1	2.0	-5.9	-5.9	-5.3
Fenchone		3.08			-5.5	-5.4	-5.5
Methyl Chavicol		3.28			-5.4	-5.2	-5.4
Trans-Beta-Farnesene	3.26				-5.0	-5.0	-5.0
Trans-Beta-Ocimene	2.08		3.0	1.8	-5.1	-4.9	-5.1
Alpha-Terpineol*	1.35				-5.3	-5.5	-5.3
Caryophyllene* oxide			1.8	5.0	-6.9	-6.7	-6.5
Espatulanol			4.2	4.7	-5.0	-5.1	-6.9

a: Lavanda ID 160910. b: Hinojo ID 161894.

Tabla 4. Composición Porcentual, Grupo C: *Lippia citriodora* (Cedrón), *Lavandula angustifolia* (Lavanda), *Foeniculum vulgare* (Hinojo). Análisis In Silico: Docking Molecular.

Las comparaciones aquí realizadas, obedecen a un sentir como investigador, de hacer más comprensible el estudio de la actividad biológica de los AEs especialmente la actividad antiviral, que en aspectos de sinergismos y antagonismo “in situ” de sus componentes, poco pude encontrar en la literatura; lo más cercano es el estudio de la actividad de los componentes individuales en el sistema biológico, y otros intentos de demostrar sinergias de los aceites mezclados (22-24). La actividad antiviral de la mayoría de los componentes principales de los AEs aquí estudiados, han sido reportados con actividad antiviral, con su mecanismo de acción dilucidado (22), clasificándolos unos como inhibidores de la adherencia del virus y otros como virucidas. Schnitzler y colaboradores en el 2019 (22) publicaron una revisión, donde encontraron que tenían actividad virucidal contra herpes virus (HSV-1 y HSV-2) el: Carvacrol, Timol y Eugenol; y 1,8- Cineol, Terpeneol-4-ol, Borneol, Geraniol, Neral, Alpha -Terpineol, Mentol, P-Cimeno, Alpha -Pino, Beta-Pino, Gamma- Pino, Limoneno y Beta- Cariofileno eran inhibidores de la adherencia del virus. Lee y colaboradores (2020), encontraron actividad sinérgica con la mezcla de los AEs de doTERRA de Oregano y Timol para la actividad antimicrobiana, utilizando el ensayo de “Tablero de Ajedrez”, con un valor de 0.37 (23); también, efectos sinérgicos como antagonísticos se han demostrado en mezclas de AEs como insecticidas (24).

## CONCLUSIONES

El estudio realizado a veinte AEs, para asociar la actividad virucidal con un rango de actividad biológica, dada por el valor Log *Rf*, llevo a establecer unos parámetros empíricos que deben de cumplir los componentes de aceites esenciales; para mínimo tener un valor de Log *Rf* >3

1. Los componentes mayoritarios deben de contemplar una diversidad química (llamado grupo químico 1) de monoterpenos monocíclicos aromáticos oxigenados o monoterpenos monocíclicos o bicíclicos alquenos oxigenados, o no alquenos, que se encuentre en un rango de Log P de 2.1 a 2.8
2. El grupo químico 1, debe de tener al menos un componente con sitios aceptores de puentes de hidrógeno o varios enlaces “rotables”. El Linalool, 1.8- Cineol hace parte de este grupo, por las propiedades químicas.
3. El grupo químico 2, debe de tener un porcentaje superior al 12% de monoterpenos de hidrocarburos monocíclicos o bicíclicos alquenos, que se encuentre en un rango de Log P de 3 a 3.8.
4. El grupo químico 2, debe de tener en sumatoria en los varios componentes, varios sitios aceptores de puentes de hidrógeno y enlaces “rotables”. Esta es la principal característica del grupo químico 2.
5. El grupo químico 3, debe de contener al menos componentes minoritarios como sesquiterpenos monocíclicos, bicíclicos o tricíclicos alquenos, que se encuentre en un valor de LogP de > 4.5; y que establezcan alto valores de energía libre con el péptido de unión de la proteína de envoltura del virus en estudio (valores > 6.7 Kcal/mol).
6. Con el grupo químico 3, es con el que se establece el sinergismo.
7. Los componentes de los AEs con valor de Log P < 1,9 no deben superar el 2.0 %, porque se presenta antagonismos con los demás componentes.

La presente investigación, trató de relacionar ciertas propiedades químicas, fisicoquímicas y biológicas de los componentes “in situ” de los AEs, como criterios para establecer una regla empírica, para postular la “potencia” virucida; candidatar AEs para una aplicación farmacológica a corto plazo como es la desinfección de ambientes hospitalarios, superficies de uso quirúrgico, y formulación de tópicos con acción virucidal en mucosas como las nasales; y a largo plazo formulaciones encapsulas de AEs con medicamentos actuales, después de haber estudiados los ensayos clínicos de biodisponibilidad.

## AGRADECIMIENTOS

El apoyo financiero provino de COLCIENCIAS, Ministerio de Educación Nacional, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo e ICETEX, Convocatoria Ecosistema Científico- Colombia Científica. Financiamiento por el fondo “Francisco José de Caldas”

(Subvención RC-FP 44842-212-2018). Agradecemos a: la Dra. Elena Stashenko del Centro de Investigación de Biomoléculas (CIBIMOL)/Universidad Industrial de Santander (UIS); al Centro de Investigación de Excelencia – CENIVAM, Bucaramanga, Santander-Colombia, y doTERRA, por el suministro de los aceites esenciales evaluados en este trabajo. Al CODI (Comité para el Desarrollo de la Investigación-Universidad de Antioquia) / por el apoyo financiero: “Sostenibilidad 2021, RC ES84190037”. Y finalmente a la “Dirección de Redes en Salud Pública, Instituto Nacional de Salud, Bogotá, DC, Colombia” por brindarnos el CHIKV.

## REFERENCIAS

1. Acosta-Reyes, J., Navarro-Lechuga, E., & Martínez-Garcés, J. C. (2015, 1 junio). Chikungunya fever: history and epidemiology. *Salud Uninorte*, 31(3), 621-630. <https://doi.org/10.14482/sun.31.3.7486>.
2. Vairo, F., Haider, N., Kock, R., Ntoumi, F., Ippolito, G., & Zumla, A. (2019). Chikungunya: Epidemiology, pathogenesis, clinical features, management, and prevention. *Infectious Disease Clinics of North America*, 33(4), 1003–1025. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2019.08.006>
3. Agudelo-Gómez, L. S., Gómez Ríos, G. A., Durán García, D. C., Stashenko, E., & Betancur-Galvis, L. (2010). Composición química y evaluación de la actividad antiherpética in vitro de aceites esenciales de *Lippia alba* (Mill) NE Brown y sus componentes mayoritarios. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 42(3), 230-239. ISSN: 2145-8464
4. James, P. J., & Callander, J. T. (2012). Bioactivity of tea tree oil from *Melaleuca alternifolia* against sheep lice (*Bovicola ovis* Schrank) in vitro. *Veterinary Parasitology*, 187(3–4), 498–504. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.02.004>
5. González-Cardenete, M. A., Hamulić, D., Miquel-Leal, F. J., González-Zapata, N., Jimenez-Jarava, O. J., Brand, Y. M., Restrepo-Mendez, L. C., Martínez-Gutiérrez, M., Betancur-Galvis, L. A., & Marín, M. L. (2022). Antiviral profiling of C-18- or C-19-functionalized semisynthetic abietane diterpenoids. *Journal of Natural Products*, 85(8), 2044–2051. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.2c00464>
6. Phuong, T. V., Nguyen, Haibo Yu, Keller P.A. (2018). Molecular Docking Studies to Explore Potential Binding Pockets and Inhibitors for Chikungunya Virus Envelope Glycoproteins. *Interdiscip Sci.*, 10(3):515-524. doi: 10.1007/s12539-016-0209-0.
7. Brand, Y. M., Roa-Linares, V. C., Betancur-Galvis, L. A., Durán-García, D. C., & Stashenko, E. (2016). Antiviral activity of Colombian Labiatae and Verbenaceae family essential oils and monoterpenes on Human Herpes viruses. *Journal of Essential Oil Research*, 28(2), 130–137. <https://doi.org/10.1080/10412905.2015.1093556>
8. Zapata, B., Durán, C., Stashenko, E., Betancur-Galvis, L., & Mesa-Arango, A. C. (2009). Actividad antimicótica, citotoxicidad y composición de aceites esenciales de plantas de la familia Labiatae. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 41(3), 223-230. ISSN: 2145-8464
9. Zapata, B., Betancur-Galvis, L., Duran, C., & Stashenko, E. (2014). Cytotoxic activity of Asteraceae and Verbenaceae family essential oils. *Journal of Essential Oil Research*, 26(1), 50–57. <https://doi.org/10.1080/10412905.2013.820674>

10. Tangarife-Castaño, V., Roa-Linares, V., Betancur-Galvis, L. A., Durán García, D. C., Stashenko, E., & Mesa-Arango, A. C. (2012). Antifungal activity of Verbenaceae and Labiatae families essential oils. *Pharmacologyonline*, 1(1), 133-145. ISSN: 1827-8620.
11. Escobar P., Milena Leal S., Herrera L.V., Martínez J.R., Stashenko E. (2010) Chemical composition and antiprotozoal activities of Colombian *Lippia* spp essential oils and their major components. *Mem Inst Oswaldo Cruz. Mar*;105(2):184-90. doi: 10.1590/s0074-02762010000200013.
12. Wani, A. R., Yadav, K., Khursheed, A., & Rather, M. A. (2021). An updated and comprehensive review of the antiviral potential of essential oils and their chemical constituents with special focus on their mechanism of action against various influenza and coronaviruses. *Microbial Pathogenesis*, 152(104620), 104620. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104620>.
13. Mediouni, S., Jablonski, J. A., Tsuda, S., Barsamian, A., Kessing, C., Richard, A., Biswas, A., Toledo, F., Andrade, V. M., Even, Y., Stevenson, M., Tellinghuisen, T., Choe, H., Cameron, M., Bannister, T. D., & Valente, S. T. (2020). Oregano oil and its principal component, carvacrol, inhibit HIV-1 fusion into target cells. *Journal of Virology*, 94(15). <https://doi.org/10.1128/JVI.00147-20>
14. Lai, W.-L., Chuang, H.-S., Lee, M.-H., Wei, C.-L., Lin, C.-F., & Tsai, Y.-C. (2012). Inhibition of herpes simplex virus type 1 by thymol-related monoterpenoids. *Planta Medica*, 78(15), 1636–1638. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1315208>
15. Shah, M., & Kumar, S. (2020). Role of cholesterol in an atid herpesvirus 1 infections in vitro. *Virus Research*, 290(198174), 198174. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198174>
16. Bahr, T., Butler, G., Rock, C., Welburn, K., Allred, K., & Rodriguez, D. (2021, 22 marzo). Cholesterol-lowering activity of natural mono- and sesquiterpenoid compounds in essential oils: A review and investigation of mechanisms using in silico protein–ligand docking. *Phytotherapy Research*, 35(8), 4215-4245. <https://doi.org/10.1002/ptr.7083>
17. Meneses, R., Ocazonez, R. E., Martínez, J. R., & Stashenko, E. E. (2009). Inhibitory effect of essential oils obtained from plants grown in Colombia on yellow fever virus replication in vitro. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*, 8(1), 8. <https://doi.org/10.1186/1476-0711-8-8>
18. Silva, J. K. R. da, Figueiredo, P. L. B., Byler, K. G., & Setzer, W. N. (2020). Essential oils as antiviral agents. Potential of essential oils to treat SARS-CoV-2 infection: An in-silico investigation. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(10), 3426. <https://doi.org/10.3390/ijms21103426>.
19. Izumida, M., Hayashi, H., Tanaka, A., & Kubo, Y. (2020). Cathepsin B protease facilitates Chikungunya virus envelope protein-mediated infection via endocytosis or macropinocytosis. *Viruses*, 12(7), 722. <https://doi.org/10.3390/v12070722>
20. Elaissi, A., Rouis, Z., Salem, N. A. B., Mabrouk, S., ben Salem, Y., Salah, K. B. H., Aouni, M., Farhat, F., Chemli, R., Harzallah-Skhiri, F., & Khouja, M. L. (2012). Chemical composition of 8 eucalyptus species' essential oils and the evaluation of their antibacterial, antifungal and antiviral activities. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 12(1), 81. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-12-81>
21. Farag, R. S., Shalaby, A. S., El-Baroty, G. A., Ibrahim, N. A., Ali, M. A., & Hassan, E. M. (2004). Chemical and biological evaluation of the essential oils of different *Melaleuca* species. *Phytotherapy Research: PTR*, 18(1), 30–35. <https://doi.org/10.1002/ptr.1348>.
22. Schnitzler, P. (2019). Essential oils for the treatment of herpes simplex virus infections. *Chemotherapy*, 64(1), 1–7. <https://doi.org/10.1159/000501062>.

23. Lee, S., Kim, H., Beuchat, L. R., Kim, Y. & Ryu, J. H. (2020, septiembre). Synergistic antimicrobial activity of oregano and thyme thymol essential oils against *Leuconostoc citreum* in a laboratory medium and tomato juice. *Food Microbiology*, 90, 103489. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103489>

24. Faraone, N., Hillier, N. K. & Cutler, G. C. (2015, 26 mayo). Plant Essential Oils Synergize and Antagonize Toxicity of Different Conventional Insecticides against *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *PLOS ONE*, 10(5), e0127774. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127774>

## CATALYTIC PYROLYSIS OF WASTE EXPANDED POLYSTYRENE TO OBTAIN STYRENE

*Data de aceite: 03/10/2022*

*Data de submissão: 07/08/2022*

### **Gerardo Pérez-Bravo**

Universidad Autónoma Metropolitana-  
Azcapotzalco, CBI-Departamento de Energía  
Ciudad de México, México

### **José Luis Contreras Larios**

Universidad Autónoma Metropolitana-  
Azcapotzalco, CBI-Departamento de Energía  
Ciudad de México, México  
Orcid: 0000-0002-1774-7122

### **Jorge Francisco Rodríguez**

Biomex Solutions S. de R. L. de C. V., Mexicali  
12  
Ciudad de México, México

### **Beatriz Zeifert**

Instituto Politécnico Nacional, ESIQIE, UPALM  
Ciudad de México, México

### **Tamara Vázquez Rodríguez**

Instituto Politécnico Nacional, ESIQIE, UPALM  
Ciudad de México, México

### **Jesús Eduardo Estrada Pérez**

Universidad Autónoma Metropolitana-  
Azcapotzalco, CBI-Departamento de Energía  
Ciudad de México, México

**ABSTRACT:** In this research project, a catalytic pyrolysis process was studied that allows the transformation of waste expanded polystyrene (WEPS) to its styrene monomer, in order to

be reused in the polystyrene industry for the manufacture of new products and, in this way, carry out its recycling. Polystyrene, unlike other polymers, has great potential to produce its monomer through a pyrolysis process and it is possible to increase its yield by using a suitable catalyst. Due to the low density of WEPS, it is necessary to reduce its volume by dissolving it in an appropriate solvent. The criteria for selecting the solvent were: good solubility, not being classified as toxic (carcinogenic), having low cost and availability in the market. Tests were carried out with different basic catalysts to determine which one provides the best styrene yield. MgO was selected as the best catalyst due to its stability and cost. This catalyst was characterized by N<sub>2</sub> physisorption (BET area), XRD and SEM-EDS. The kinetics of the WEPS pyrolysis reaction was determined.

**RESUMEN:** En este proyecto de investigación se estudió un proceso de pirolisis catalítica que permite transformar los residuos de poliestireno expandido (WEPS) a su monómero de estireno, con la finalidad de ser reutilizado en la industria del poliestireno para la fabricación de nuevos productos y, de esta manera, efectuar su reciclaje. El poliestireno, a diferencia de otros polímeros, tiene un gran potencial para producir su monómero a través de un proceso de pirolisis y es posible aumentar su rendimiento utilizando un catalizador adecuado. Debido a la baja densidad de los WEPS es necesario reducir su volumen, disolviéndolo en un solvente apropiado. Los criterios para seleccionar el solvente fueron: buena solubilidad, no estar clasificado como

tóxico (cancerígeno), tener bajo costo y disponibilidad en el mercado. Se realizaron pruebas con diferentes catalizadores básicos para determinar cuál es el que proporciona el mejor rendimiento de estireno. El MgO fue seleccionado como el mejor catalizador por su estabilidad y costo. Este catalizador se caracterizó mediante fisiorción de  $N_2$  (área BET), XRD y SEM-EDS. Se determinó la cinética de la reacción de pirolisis de los WEPS.

**KEYWORDS:** Catalytic pyrolysis, expanded polystyrene waste, styrene, recycling.

## 1 | INTRODUCTION

In the 2020 Solid Waste Inventory prepared by the Ministry of the Environment (SEDEMA) of the Government of Mexico City, it is reported that during that year 12,306 daily tons of urban solid waste were generated, an amount that is not only attributed to its resident population, but also to the floating population that daily enters the entity to carry out its activities. On the other hand, in the Basic Diagnosis for the Integral Management of Solid Waste 2020 published by the Ministry of Environment and Natural Resources (SEMARNAT) of the Mexican Federal Government specifies that the average weight percentage of WEPS is 1.55% of the total solid waste generated in Mexico, therefore, it is estimated that in 2020, around 190.74 tons of WEPS were generated in Mexico City per day, of which only 0.09 tons/day were recycled, as reported in the 2020 Solid Waste Inventory, mentioned above.

Polystyrene is abundant in the waste that floats in the oceans. Like most synthetic polymers, polystyrene degrades very slowly, mainly due to the effect of UV radiation from the sun, producing smaller and smaller particles, down to micro or nano-sized polymer fragments, which can be easily ingested by marine wildlife such as mussels, fish, seabirds and whales. Ingestion of microscopic plastic particles can harm animals via the release of plastic monomers and toxic chemical additives, such as phthalates. The presence of microscopic plastic particles in fish and marine wildlife is massive and well documented.

## 2 | METHODOLOGY

First, a WEPS collection of used disposable cups and plates, as well as discarded packaging material, was carried out. Subsequently, a size reduction of the WEPS gathered was carried out to obtain small fragments of between 0.5 and 2 cm.

### 2.1 WEPS solubility experiments

WEPS solubility experiments were carried out in toluene, orange essential oil and a mixture of 50% toluene-50% orange oil, in 100 mL of solvent the WEPS, previously weighed, was added until it no longer dissolved WEPS and by difference of the remaining weight of the WEPS the dissolved weight was determined. The criteria to select the best solvent were: that the WEPS had good solubility in the solvent, that it was not toxic (or carcinogenic), and that it had low cost and availability in the market.

By dissolving WEPS in a solvent, while reducing its volume, also the air trapped

inside the WEPS is eliminated, which is necessary for the pyrolysis process, since it must be carried out in complete absence of oxygen.

## 2.2 Determination of the WEPS average molecular weight

In order to carry out the characterization of WEPS, their average molecular weight was estimated by measuring the viscosity of WEPS solutions in toluene at different concentrations at 25°C, with the help of a Brookfield viscometer. As is known, (Gowariker et al., 2005) viscosity data can be used to calculate the average molecular weight of WEPS, using the Mark-Houwink equation:

$$[\eta] = KM^\alpha \quad (1)$$

Where:  $[\eta]$  = intrinsic viscosity,  $M$  = average molecular weight,  $K$  and  $\alpha$  are constants for a particular polymer-solvent system. According to Gowariker et al. (2005), the constants  $K$  and  $\alpha$  for the polystyrene-toluene system have the following values:  $K = 11 \times 10^{-3} \text{ mL/g}$  y  $\alpha = 0.725$ . Intrinsic viscosity is given by the equation:

$$[\eta] = (\ln \eta r / C)_{C \rightarrow 0} \quad (2)$$

Where  $C$  is the concentration g/mL and  $\eta r$  is the relative viscosity that is given by the equation:

$$\eta r = \mu / \mu_0 \quad (3)$$

Where  $\mu$  is the viscosity of the solutions of WEPS in toluene, determined above and  $\mu_0$  is the viscosity of the pure solvent. If the  $\ln(\eta r)/C$  is plotted against concentration  $C$  (in g/mL), the intrinsic viscosity  $[\eta]$  shall be given by the ordinate at the origin of this graph.

## 2.3 Catalytic pyrolysis experiments

WEPS pyrolysis experiments were performed without catalyst and with MgO and calcined dolomite as catalysts. These variables remained constant: external temperature at 400°C, internal temperature at 250°C (Park et al., 2003), WEPS:catalyst ratio 10:1 in weight (Zhang et al., 1995) and  $N_2$  flow at 0.1 L/min as a carrier gas. In all experiments, 25 g of WEPS dissolved in 100 mL of toluene were used, at atmospheric pressure, using the experimental equipment shown in Figure 1. The number 1 corresponded to the entry of  $N_2$  as a carrier gas, flow was measured with the rotameter marked with the number 2 (Cole Parmer, from 0.1 to 0.5 L/min). The number 3 corresponded to the glass reactor with 1 L of capacity. The reactor was heated with an electrical resistance (number 4). The number 5 corresponded to the reactor lid, which had four mouths. A neoprene and Teflon gasket was placed between the reactor and the lid to prevent leakage. In one of the mouths of the lid was placed a pressure gauge (Metron), with scale from 0 to 2 kg/cm<sup>2</sup>. Another of the mouths of the lid corresponded to the carrier gas entrance to the reactor (red). In another of the mouths of the lid a thermowell was placed to indicate the temperature inside the reactor. The last mouth allowed the exit of the gaseous products from the reaction.

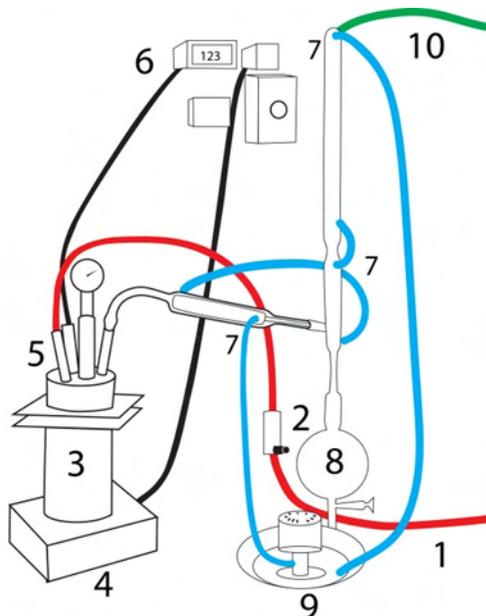


Figure 1. Glass reactor diagram and its components.

To keep the heating temperature at the set value, a thermocouple was connected from the electrical resistance to the temperature controls (number 6), which consisted of a rheostat, a digital electronic pyrometer and a relay that constituted an automatic system.

The pyrolysis vapors were condensed with three glass refrigerants (numbers 7). The liquid products were recovered in the glass accumulator-separator (separation funnel, number 8), where it was possible to take fractions of liquid products at a certain time by means of a valve at the bottom.

The cooling system (number 9) consisted of a vessel containing a mixture of water and methanol (50%), to which dry ice was added and, in this way, the temperature of the cooling fluid was reduced to  $-5^{\circ}\text{C}$ . A submersible pump was installed to recirculate the coolant fluid.

The incondensable gases left the system along with the carrier gas by means of a hose into the atmosphere (number 10, green).

The liquid product of WEPS pyrolysis, using MgO as a catalyst, was analyzed with an infrared spectrometer (Perkin Elmer, Frontier model). The composition of the liquid products in each experiment was determined using a Varian CP-3380 gas chromatograph, a flame ionization detector and a 30 m x 0.25 mm ID x 0.25  $\mu\text{m}$  of polyethylene glycol as stationary phase capillary column. These are the analysis conditions recommended by the standard ASTM D5135-16 method.

An experiment was conducted at a temperature of  $400^{\circ}\text{C}$  with the catalyst that provided the highest styrene yield.

## 2.4 Catalytic pyrolysis kinetics

The kinetics of the WEPS pyrolysis reaction were determined by the following procedure:

1. In the facility shown in Figure 1, experiments were carried out evaluating the weight of liquid products as a function of time.
2. The solvent was removed by heating it to 117°C (the toluene boiling point is 111°C), which was clearly observed not to be part of the reaction products. Pyrolysis began at approximately 200°C, when this temperature was reached it was considered  $t = 0$  min, for the purposes of determining kinetics.
3. Once most of the solvent was exhausted, which was visually possible, the toluene was extracted from the condensate collector No. 8 and the reaction time itself began and the vapors due to thermal or catalytic pyrolysis began to form and condense in the gas-liquid accumulator-separator No. 8.
4. Sampling was carried out every 10 min by taking the accumulated liquid product at each time in the separation funnel No. 8.
5. Each sample was weighed on an analytical balance and analyzed by gas chromatography.

The determination of the kinetics of WEPS catalytic pyrolysis was performed based on weight, to express the kinetic equation as reported in the literature. The kinetic equation for a heterogeneous system can be proposed as (Imani Moqadam et al., 2015):

$$-\frac{dm}{dt} = k m^n \quad (4)$$

Where:  $m$  = WEPS mass (g) in a reaction time,  $t$  = reaction time (min),  $k$  = specific reaction constant and  $n$  = reaction order. In various studies of WEPS pyrolysis (Camiti et al., 1991; Aguado et al., 2003; Encinar y González, 2008; Mo et al., 2013; Imani Moqadam et al., 2015; Artetxe et al., 2015; Nisar et al., 2019), it has already been reported that the kinetics of WEPS pyrolysis is of first order, if  $n = 1$  equation (4) can be integrated as follows:

$$-\int_{m_0}^m \frac{dm}{m} = k \int_0^t dt \quad (5)$$

Solving the integral leads to equation (6), which was the kinetic equation used with the data thrown in the experiments carried out:

$$\ln \frac{m_0}{m} = k t \quad (6)$$

## 2.5 Catalyst Characterization

### 2.5.1 $N_2$ Physisorption (BET Area)

The  $N_2$  adsorption-desorption isotherm of the MgO catalyst was determined with a NOVA Quantachrome Instruments version 11.0 equipment, using the  $N_2$  physisorption at 77.35°K. Before adsorption, the sample received a degassing pretreatment at 300°C for 5

h under a vacuum of  $1 \times 10^{-4}$  torr. The weight of the sample was 0.2482 g and the volume of the sample of  $0.06708 \text{ cm}^3$ . With this analysis, the BET specific area, the pore volume and the distribution of the pore diameter were determined by applying the standard BET model (Brunauer et al., 1938). To quantify the pore volume ( $V_p$ ) of the samples, the T-plot method was used (Lippens y Boer, 1965). The distribution of the pore diameter was obtained from the BJH model (Barrett et al., 1951), using isothermal desorption and assuming pore geometry as cylindrical.

### 2.5.2 X-Ray Diffraction

The XRD diffractograms of the MgO catalyst, before and after the pyrolysis reaction, were obtained with a Rigaku diffractometer (Phillips Xpert) equipped with a Cu tube anode (Phillips Xpert) (30 kV, 20 mA), which uses  $\text{CuK}\alpha$  radiation. The scan was performed in the range of  $2\theta \sim 10\text{-}100^\circ$ , with a  $2^\circ/\text{min}$  rate.

### 2.5.3 Scanning Electronic Microscopy (SEM) y EDS

Images of the MgO catalyst microstructure were taken by scanning electronic microscopy (SEM), before and after the pyrolysis reaction, with field emission and high resolution in a Joel microscope (model JFM-6701-F, Japan) using secondary electrons.

## 3 | RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 WEPS solubility experiments

WEPS solubility experiments on toluene, orange oil and a mixture of 50% orange oil-50% toluene were 0.6018, 0.4163 y 0.5633 g/ml of solvent, respectively. The result of the WEPS solubility in toluene was similar to that obtained by García et al. (2009).

Toluene was found to be the most suitable solvent for dissolving WEPS, because it offered the highest solubility among the solvents analyzed, the toluene safety sheet mentions that there is no evidence that it is carcinogenic and that toluene has a relatively low cost and good availability in the market.

### 3.2 Determination of the WEPS average molecular weight

It is observed that the viscosity increases exponentially with the WEPS concentration in toluene. As can be seen in Figure 2, the curve fits well to the equation:  $y = 0.0069e^{0.2892x}$ .

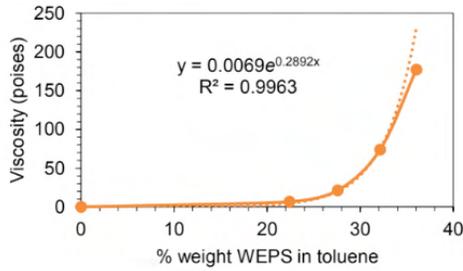


Figure 2. Viscosity against WEPS concentration dissolved in toluene at 25°C.

With the viscosity data of the WEPS solutions in toluene at different concentrations, the graph in Figure 3 is obtained,  $\ln(\eta r)/C$  against the WEPS concentration in toluene in g/mL. The intrinsic viscosity is the ordered to the origin, so  $[\eta] = 39.285$  mL/g.

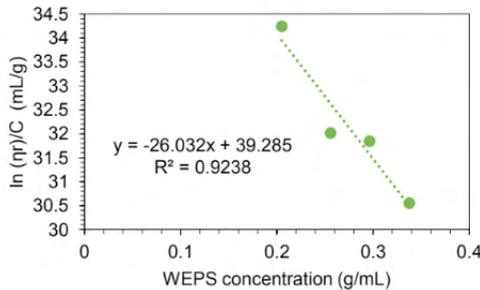


Figure 3.  $\ln(\eta r)/C$  against WEPS concentration in toluene

Applying the Mark-Houwink equation (1) and using the constants reported by Gowariker et al. (2005):  $K = 11 \times 10^{-3}$  mL/g and  $\alpha = 0.725$ , results in a WEPS average molecular weight of  $M = 79,517.15$  g/mol.

### 3.3 Catalytic pyrolysis experiments

The infrared (IR) spectrum obtained from the liquid products of WEPS pyrolysis, using MgO as a catalyst, is shown in Figure 4. The interpretation of this spectrum is as follows:

- The bands between  $3030-3080 \text{ cm}^{-1}$  and  $910-990 \text{ cm}^{-1}$  represent the vinyl group, characteristic of styrene.
- The band in  $1631 \text{ cm}^{-1}$  suggests the presence of C=C.
- The bands between  $730-770 \text{ cm}^{-1}$  and the small peaks between  $1700$  y  $1900 \text{ cm}^{-1}$  indicate the presence of monosubstituted benzene.
- The bands between  $1450-1500 \text{ cm}^{-1}$  indicate the presence of aromatic groups.

- e) The bands between 2930-2980  $\text{cm}^{-1}$  characterize C-H groups.
- d) The band in 1580  $\text{cm}^{-1}$  corresponds to substitution in the benzene ring.

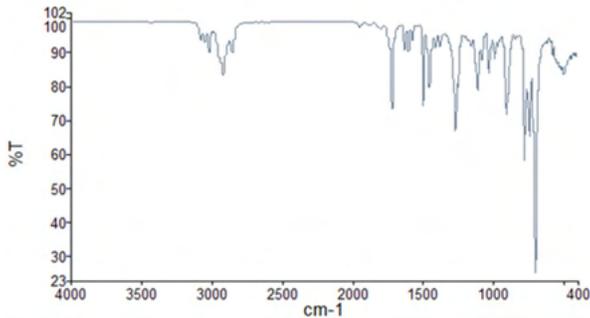


Figure 4. IR spectrum of WEPS pyrolysis products obtained, using MgO as catalyst

The styrene yield obtained without catalyst and with MgO and calcined dolomite as catalysts, at 250°C, are detailed in Table 1, are compared with the results reported by Zhang et al. (1995).

Catalyst	Temperature (°C)	Styrene yield (wt. %)	Styrene yield Zhang et al. (1995) (wt. %)	Residue (wt. %)
Without catalyst	250	23.27	56.07	5.43
MgO	250	56.29	62.9	6.13
Calcined dolomite	250	50.69	This catalyst has not been used before	7.37

Table 1. Yields obtained from WEPS pyrolysis

According to Zhang et al. (1995) using BaO as a catalyst resulted in a higher yield, obtaining 71.4% by weight of styrene at 350°C. However, BaO has about five times a higher cost than MgO. Therefore, it was decided that MgO is the most appropriate catalyst for industrial purposes. Once MgO was selected as the most industrially suitable, an experiment was conducted at a temperature of 400°C, in which a styrene yield of 66.42% by weight was achieved.

### 3.4 Catalytic pyrolysis kinetics

The weight loss of WEPS over time of the experiment without catalyst is shown in Figure 5a, if  $\ln(m_0/m)$  is plotted against time  $t$ , according to equation (6), Figure 5b results, where it is observed that it is very close to a straight line. Fitting to a straight line using the least squares method resulted a slope of  $k = 0.0146 \text{ min}^{-1}$ , with a correlation coefficient of  $R^2 = 0.9965$ .

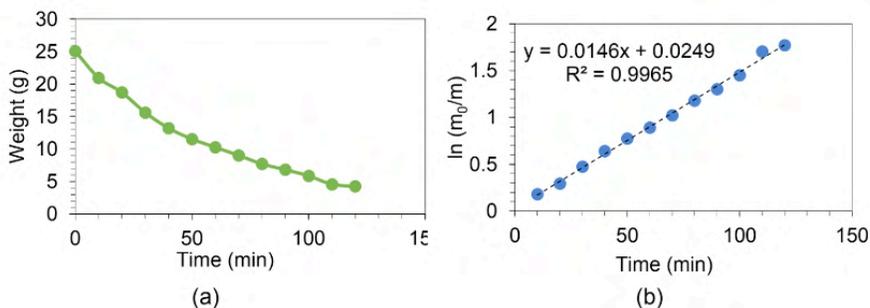


Figure 5. Experimental test data without catalyst. (a) WEPS weight loss with time  $t$ , (b)  $\ln(m_0/m)$  against time  $t$ .

In the WEPS catalytic pyrolysis experiment in which MgO was used as a catalyst (Figure 6a), a similar decrease was observed as a function of time to the case of reaction without catalyst. When applying equation (6), a straight line was obtained (Figure 6b) using the least squares method, the slope gave  $k = 0.0156 \text{ min}^{-1}$ , with a correlation coefficient of  $R^2 = 0.9927$ , therefore, it is corroborated that the WEPS pyrolysis reaction follows a first order kinetics, using toluene as a solvent.

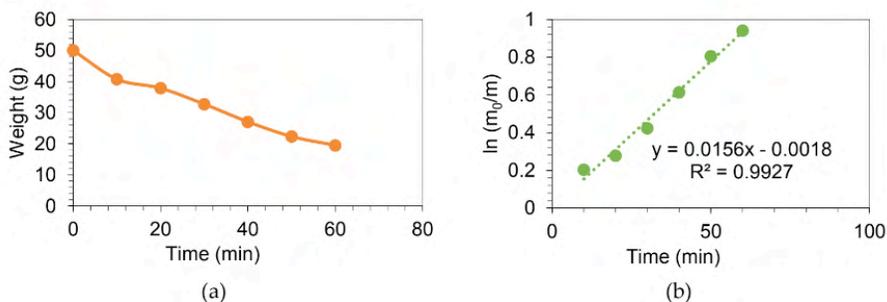


Figure 6. Experimental test data using MgO as catalyst. (a) WEPS weight loss with time  $t$ , (b)  $\ln(m_0/m)$  against time  $t$ .

### 3.5 Catalyst Characterization

#### 3.5.1 $N_2$ Physisorption (BET Area)

Using the Cumulative Desorption Method DH a surface of  $45.63 \text{ m}^2/\text{g}$  was obtained. With the Cumulative Desorption Method BJH resulted a pore volume of  $0.1016 \text{ cm}^3/\text{g}$ . With the DH Method by desorption (Dv(d) mode) an average pore diameter of  $3.645 \text{ nm}$  was obtained. Figure 7 shows the  $N_2$  adsorption and desorption isotherm of the MgO catalyst at a temperature of  $77.35^\circ\text{K}$ , where it is observed that the isotherm is type IV according to

the IUPA classification (Contreras et al., 2015), therefore, the MgO catalyst is mesoporous.

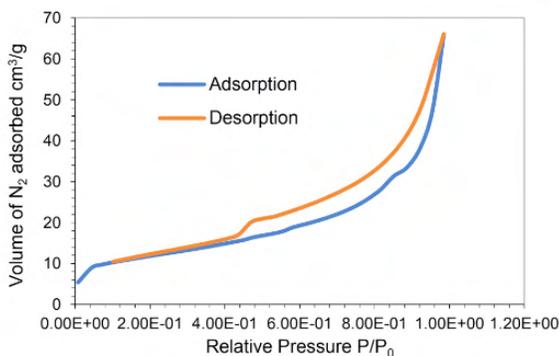


Figure 7. MgO catalyst adsorption and desorption isotherm

### 3.5.2 X-Ray Diffraction

The diffractogram of the MgO catalyst before pyrolysis (Figure 8a) shows a great coincidence with the periclase diffractogram (93.36%). Figure 8b presents the diffractogram of the catalyst after pyrolysis, in which a probable coke phase is observed. However, this analysis shows that the MgO catalyst is not modified after pyrolysis, as periclase diffractions remain.

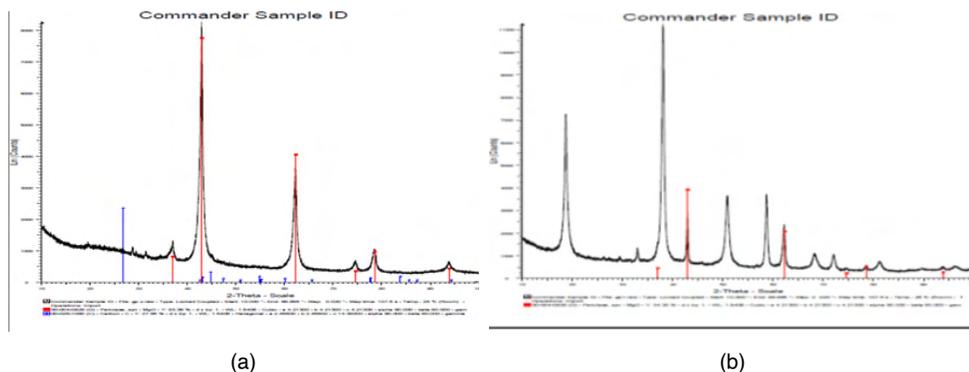


Figure 8. MgO X-ray diffractogram, (a) before pyrolysis, (b) after pyrolysis

### 3.5.3 Scanning Electronic Microscopy (SEM) y EDS

Figure 9a shows the image obtained by scanning electronic microscopy of the MgO catalyst before pyrolysis, Figure 9b corresponds to the Mg mapping by EDS of the catalyst, Figure 9c corresponds to the mapping of Si by EDS, Figure 9d corresponds to the mapping of Ca by EDS, Figure 9e corresponds to the mapping of O by EDS and its chemical

composition is detailed in Table 2.

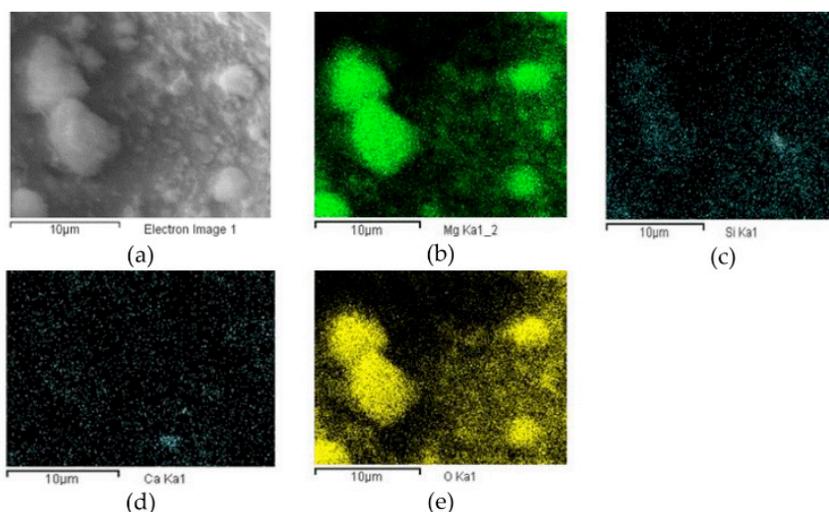


Figure 9. Scanning electronic microscopy and mapping of MgO catalyst elements prior to MgO pyrolysis. (a) SEM image, (b) Mg mapping by EDS, (c) Si mapping by EDS, (d) Ca mapping by EDS and (e) O mapping by EDS.

Element	Weight %	
	Before pyrolysis	After pyrolysis
O	79.94	34.82
C	---	48.95
Mg	19.3	12.95
Si	0.38	2.33
Ca	0.38	0.71
S	---	0.24

Table 2. MgO catalyst chemical composition before and after pyrolysis

Figure 10 shows the images of the MgO catalyst after pyrolysis, obtained with the scanning electronic microscope and Table 2 reports its chemical composition. This analysis performed with scanning electronic microscopy and EDS shows that, after the pyrolysis reaction, carbon is formed on the MgO catalyst and the presence of sulfur traces that did not exist before the WEPS pyrolysis was found.

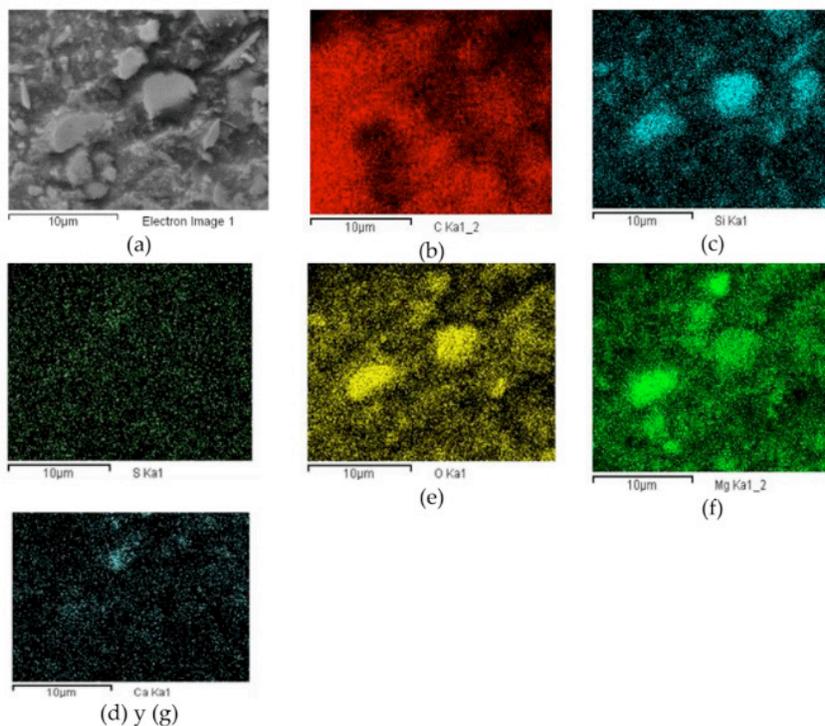


Figure 12. Scanning electronic microscopy and mapping of MgO catalyst elements after pyrolysis. (a) SEM image, (b) C mapping by EDS, (c) Si mapping by EDS, (d) S mapping by EDS, (e) O mapping by EDS, (f) Mg mapping by EDS and (g) Ca mapping by EDS.

## 4 | CONCLUSIONS

The most appropriate solvent to dissolve WPS is toluene, because it dissolves WEPS very well, because there is no evidence that it is carcinogenic, has a relatively low cost and availability in the market. MgO catalyst is the most suitable for WEPS pyrolysis for industrial purposes, due to its stability, low cost and availability in the market. The highest styrene yield obtained was 66.42% by weight with MgO as catalyst, at a temperature of 400°C. The pyrolysis of polystyrene follows a kinetics of first order. MgO catalyst is mesoporous and does not undergo any modification after pyrolysis.

## REFERENCES

Aguado R., Olazar M., Gaisán B., Prieto R., Bilbao J. (2003) **Kinetics of polystyrene pyrolysis in a conical spouted bed reactor**. Chemical Engineering Journal, 92, pp. 91-99.

Artetxe M., Lopez G., Amutio M., Barbarias I., Arregi A., Aguado R., Bilbao J., Olazar M. (2015) **Styrene recovery from polystyrene by flash pyrolysis in a conical spouted bed reactor**, Waste Management, Vol. 45, pp. 126-133.

Barrett E. P., Joyner L. G., Halenda P. P. (1951) **The Determination of Pore Volume and Area Distributions in Porous Substances. I. Computations from Nitrogen Isotherms.** J. Am. Chem. Soc., 73, pp. 373-380.

Brunauer S., Emmett P.H., Teller E. (1938) **Adsorption of Gases in Multimolecular Layers.** J. Am. Chem. Soc., 60, pp. 309–319.

Camiti P., Beltrame P. L., Armada M., Gervasini A., Audisio G. (1991) **Polystyrene Thermodegradation. 2. Kinetics of Formation of Volatile Products,** Industrial and Engineering Chemistry Research, 30:7, pp. 1624-1629.

Contreras J. L., Gomez G., Zeifert B., Salmones J. (2015) Book Chapter No.1: **Synthesis of mesoporous alumina for catalytic applications,** Book: Comprehensive Guide for Mesoporous Materials, Mahmood Aliofkhaezrai, Nova Science Publishers Inc. New York, pp. 11-23.

Encinar J. M., González J. F. (2008) **Pyrolysis of synthetic polymers and plastic wastes, Kinetic study,** Fuel Process Technol., 89:7, pp. 678–686.

Environment and Natural Resources Secretariat (SEMARNAT), Mexico Government. (2020) **Basic Diagnostics for Integral Solid Waste Management,** Mexico, p 23.

Environment Secretariat (SEDEMA), Mexico City Government. (2020) **Solid Waste Inventory,** Mexico, pp. 16, 164.

García M. T., Gracia I., Duque G., de Lucas A., Rodríguez J. F. (2009) **Study of the solubility and stability of polystyrene wastes in a dissolution recycling process.** Waste Management, 29, pp. 1814–1818.

Gowariker V. R., Vishwanathan N. V., Shreedhar J. (2005) **Polymer Science,** 1st ed., New Age International (P) Ltd., Publishers, New Delhi, India, p. 356.

Imani Moqadam S., Mirdrikvand M., Roozbehani B., Kharaghani A., Shishehsaz M. R. (2015) **Polystyrene pyrolysis using silica-alumina catalyst in fluidized bed reactor.** Clean Technologies and Environmental Policy, DOI: 10.1007/s10098-015-0899-8.

Lippens B. C., Boer J. H. (1965) **Studies on Pore Systems in Catalysts: V. The t Method.** J. Catal., 4, pp. 319–323.

Mo Y., Zhao L., Chen C. L., Tan G. Y. A., Wang J. Y. (2013) **Comparative pyrolysis upcycling of polystyrene waste: thermodynamics, kinetics, and product evolution profile.** Therm. Anal. Calorim., 111, pp. 781–788.

Nisar J., Ali G., Shah A., Raza Shah M., Iqbal M., Naeem Ashiq M., Nawaz Bhatti H. (2019) **Pyrolysis of Expanded Waste Polystyrene: Influence of Nickel-Doped Copper Oxide on Kinetics, Thermodynamics, and Product Distribution,** Energy Fuels, 33, pp. 12666–12678.

Park J. J., Park K., Kim J. S., Maken S., Song H., Shin H., Park J. W., Choi M. J. (2003) **Characterization of Styrene Recovery from the Pyrolysis of Waste Expandable Polystyrene.** Energy & Fuels, 17:6, pp. 1576-1582.

Zhang Z., Hirose T., Nishio S., Morioka Y., Azuma N., Ueno A. (1995) **Chemical Recycling of Waste Polystyrene into Styrene over Solid Acids and Bases.** Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 34, No. 12, pp. 4514-4519.

## EL GÉNERO Y SU IMPACTO EN EL NIVEL DE BURNOUT DE LOS DIRECTIVOS DE MIPYMES DE ALIMENTOS Y BEBIDAS EN EL ESTADO DE SONORA

*Data de aceite: 03/10/2022*

**Jesús Martín Cadena Badilla**

**Arturo Vega-Robles**

**Agustín Mejías Acosta**

**Joaquín Vásquez Quiroga**

**RESUMEN:** La integración económica mundial de los últimos años ha provocado la necesidad de que los mandos de las MIPYMES incrementen sus esfuerzos para hacer crecer sus empresas y lograr mejores resultados. Estas exigencias los han llevado a padecer un agotamiento físico y mental. A este agotamiento mental se le conoce como Síndrome de Burnout (SB) o Síndrome del Quemado que hoy en día afecta en gran medida el buen desempeño de estas personas al frente de sus empresas. Este trabajo forma parte de una investigación en este constructo realizada en el estado de Sonora, México. El objetivo es determinar la influencia del género de los Directivos de estas empresas en el Nivel de Burnout, para lo cual se tomó una muestra aleatoria de 342 empresas y se utilizó un nivel de significancia de 5%. Al determinar la relación entre el género y Nivel de Burnout, se encontró que no existe diferencia significativa entre estos. Posteriormente se analizó por sus dimensiones y tampoco hubo diferencia, pero al hacerlo por cada ítem (22 ítems) se encontró que los hombres se autocalificaron más alto que las mujeres en un ítem referente a Mejores Logros Personales y en

otro referente a Agotamiento Emocional. En la Validación Estadística de forma Global se puede concluir que la influencia del género en el Nivel de Burnout y en los resultados no es significativa.

**PALABRAS CLAVE:** Género – MIPYMES – Síndrome de Burnout – Instrumento MBI.

### THE GENDER ITS IMPACT ON THE BURNOUT LEVEL OF THE MSME MANAGERS OF FOOD AND BEVERAGE IN THE STATE OF SONORA

**ABSTRACT:** The global economic integration of recent years has led to the need for MSMEs to increase their efforts to grow their businesses and achieve better results. These demands have led them to suffer from physical and mental exhaustion. This mental exhaustion is known as Burnout Syndrome (SB) or Burn Syndrome that nowadays greatly affects the good performance of these people at the helm of their companies. This work is part of an investigation in this construct realized in the state of Sonora, Mexico. The objective is to determine the gender influence of the managers of these companies in the Burnout Level, for which a random sample of 342 companies was taken and a significance level of 5% was used. When determining the relationship between gender and Burnout Level, it was found that there is no significant difference between these. It was later analyzed for its dimensions and there was no difference, but when doing so for each item (22 items) it was found that the men self-rated higher than the women in an item related to Personal Achievement and another one related to Emotional Exhaustion. In the Global

Statistical Validation, it can be concluded that the influence of gender on the Burnout Level and on the results is not significant.

**KEYWORDS:** Gender, MSMEs, Burnout Syndrome, MBI Instrument.

## 1 | INTRODUCCIÓN

Una creciente participación de la mujer en los negocios en los últimos años da cuenta de la importancia de cómo el género se vuelve cada vez más un factor de influencia en los resultados de las empresas. Se puede citar el caso de USA en donde una de cada once mujeres es dueña y dirigente de negocios, con lo que se puede estimar que aproximadamente nueve millones son dueñas de sus propios negocios (Hopkins, 2003; Vega-Robles, Romero y Cadena-Badilla, 2013). La National Women's Foundation (2004), reporta que las mujeres estaban generando el doble de nuevos negocios que los hombres.

En la última década, los investigadores con espíritu empresarial han realizado estudios sobre la relación existente entre el liderazgo de género como variable demográfica clave en los resultados empresariales. Al comparar los resultados de los negocios liderados por hombres contra mujeres se encontró que por un lado existen diferencias significativas en el desempeño de los negocios de acuerdo al género (Du Rietz y Henrekson, 2000; Fasci y Valdez, 1998; Rosa, Carter, y Hamilton, 1996), mientras que otros investigadores afirman que no hay diferencias significativas entre hombres y mujeres (Johnson y McMahon, 2005; Watson, 2002; Anna, Chandler, Jansen, y Mero, 2000). En esta revisión del estado del arte no se encontraron estudios posteriores a estos años.

### 1.1 El Género y las MIPYMES

En México, la participación de la mujer se ha incrementado en las últimas décadas, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) se tiene que el porcentaje total de mujeres emprendedoras es de 21,1 y dirigen el 48% de las Micros, Pequeñas, y Medianas Empresas (INEGI, 2015).

Estudios realizados revelan que más del 98% del universo de empresas formales e informales de muchos países se ubican en el grupo de MIPYMES, teniendo una alta participación en ventas totales, las exportaciones, el PIB y el empleo (Carrasco, 2005). De aquí se desprende que cualquier problema por el que atravesasen este tipo de empresas repercute de una manera directamente proporcional desfavorable en los indicadores macroeconómicos y sociales del país de referencia (Cadena-Badilla, 2013).

Las MIPYMES son un elemento fundamental para el desarrollo económico de los países, tanto por su contribución al empleo, como por su aportación al Producto Interno Bruto, constituyendo, en el caso de México, más del 99,8% del total de las unidades económicas del país, representando alrededor del 52% del Producto Interno Bruto y contribuyendo a generar más del 72% de los empleos formales, (INEGI, 2015); (Calderón, 2016). Las MIPYMES en México, se establecen bajo criterios de estratificación de empresas

de acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (DOF) del día 30 de junio de 2009, que clasifican a las micros, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) de acuerdo número de personas empleadas y al sector que pertenecen (Tabla 1).

Tamaño	Industria	Comercio	Servicios
Micro Empresa	0-10	0-10	0-10
Pequeña Empresa	11-50	11-30	11-50
Mediana Empresa	51-250	31-100	51-100
Gran Empresa	251 en adelante	101 en adelante	101 en adelante

Tabla 1. Clasificación de las MIPYMES.

Fuente: Secretaría de Economía y Diario Oficial de la Federación del 30 de junio de 2009.

Este estudio contribuye para el mejor entendimiento de los efectos del género en los Niveles de Burnout y en los resultados de estas empresas. Al revisar el estado del arte, se encontraron estudios referentes al género y Bournout en el área de la salud (Aranda, 2006); y en el área docente (Aldrete, González y Preciado, 2008); pero no se encontraron estudios en México aplicados a MIPYMES con suficiente rigor científico (análisis multifactorial, alta fiabilidad, validez de contenido, validez de criterio, validez concurrente, validez predictiva y validez de constructo) donde se relacione el género con el Nivel de Burnout, por lo que se utilizó un estudio de campo en empresas (MIPYMES) en el estado de Sonora, con el fin de conocer dicha relación. Solo se tiene como antecedente un estudio aplicado a la orientación al mercado en el sector Hotelero (Vega-Robles, Romero y Cadena-Badilla, 2013).

## 1.2 Síndrome de Burnout

Freudenberger (1974) definió al *Burnout* como “una sensación de fracaso y una existencia agotada o gastada que resulta de una sobrecarga por exigencias de energía, recursos personales o fuerza espiritual de trabajador”, que ubican los sentimientos y emociones negativos producidos por el *Burnout* en el contexto laboral, ya que es el que puede provocar dichas reacciones. Se considera un “vaciamiento de uno mismo” provocado por el agotamiento de los recursos físicos y mentales tras el esfuerzo excesivo para alcanzar una determinada expectativa no realista impuesta por el, desde el contexto organizativo.

Gil-Monte y Peiró, (1999), definen a este Síndrome de Burnout (SB) como síndrome de “quemarse por el trabajo”, desgastarse mentalmente en las actividades diarias y los problemas de lidiar con estas actividades.

A través de diferentes estudios se han propuesto diferentes definiciones. La definición de *Burnout* mejor desarrollada y más aceptada hasta hoy en día ha sido la que fue elaborada por García, (1995); Maslach, Schaufeli y Leiter, (2001); Carpio, (2008); Claro, (2009) y lo definieron como “síndrome compuesto por tres síntomas: *baja realización*

*personal en el trabajo, agotamiento mental y emocional y despersonalización*". El síndrome de *Burnout* (Maslach y Jackson, 1981), es un proceso que surge como consecuencia del estrés laboral crónico, en el cual se combinan variables de carácter individual, social y organizacional. Se trata por tanto de un síndrome con connotaciones afectivas negativas que afecta a los trabajadores en distintos niveles (personal, social y laboral) (León, 2006); (OIT, 2014).

El constructo de *Burnout* se compone de 3 factores o dimensiones: Agotamiento Emocional (AE), Despersonalización (DP) y Realización Personal (RP). Cada uno de dichos factores, tiene a su vez una escala de medición que puede subdividirse en bajo, medio y alto. Las escalas de los primeros dos factores, son directamente proporcionales con la intensidad del *Burnout*; y el tercero (RP), es inversamente proporcional, es decir, mientras más baja sea la puntuación, más afectación por *Burnout* tendrá la persona.

La justificación de este estudio se basa en el rápido crecimiento de la participación de la mujer ya sea como propietaria de pequeñas empresas o como ejecutiva de éstas, tiene importantes implicaciones para la economía y para el espíritu empresarial. Para la Organización Internacional del Trabajo (OIT), en la actualidad un tercio de las Empresas en el mundo están conducidas por mujeres, y también cada vez más se reconoce su capacidad de gestión (OIT, 2015). A pesar de las limitaciones de algunos marcos teóricos para entender las diferencias de género (Fischer, Reuber, y Dyke, 1993), es todavía muy discutido e incierto el efecto que, para la prevalencia de este síndrome, tiene el factor sexo y/o género. Los estudios al respecto, por carecer del suficiente rigor científico mencionado en la página anterior, no son todavía suficientemente concluyentes y precisan una mayor atención. En todo caso, la mayor incidencia del estrés laboral en las mujeres, en particular, por la doble carga de trabajo que conlleva la práctica profesional y la tarea familiar, podría hacer pensar en que también respecto del SB tiene una mayor presencia. Pero ha de insistirse en que este es un ámbito que precisa mayor análisis (UGT, 2006).

Además, para Davis, Babakus, Englis y Pett, (2010), las investigaciones empíricas realizadas sobre género como base para establecer la diferencia en el rendimiento empresarial no son suficientes. Por todo esto, la literatura académica ofrece convincentes razones para realizar este estudio y analizar en qué grado el género hace la diferencia en los resultados empresariales.

El objetivo de este estudio es replicar un estudio realizado anteriormente por los mismos autores para así poder determinar la influencia del género de los Mandos Medios de las empresas MIPYMES de alimentos y Bebidas en el Nivel de *Burnout*, ya que esta patología les provoca problemas psicofisiológicos y les afecta en gran medida en su buen desempeño al frente de sus empresas y en los resultados de éstas.

## 2 | MATERIAL Y MÉTODOS

Esta información estadística es resultado del proyecto de Investigación de medición de Burnout a los Mandos Medios de las MIPYMES de Sonora, el diseño de este estudio es de tipo transversal, exploratorio, descriptivo, pero también explicativo. Los estudios exploratorios se realizan normalmente cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, como en este caso lo es la medición del SB en una profesión distinta a las profesiones asistenciales ya muy estudiadas, situación que ocurre al desarrollar esta investigación en el ambiente empresarial de las MIPYMES, ya que, en un estudio previo, se determinó que existe este padecimiento entre esta población (Cadena, Romero y Vega, 2013).

### 2.1 Tamaño de la Muestra

La Población de MIPYMES en la rama de Alimentos y Bebidas con un Proceso de Transformación para el Estado de Sonora, según la Secretaría de Economía (SE) fue de 3068 (SE, 2013) y el tamaño de la muestra que arrojó el muestreo aleatorio simple fue de 342 mandos de MIPYMES a encuestar las cuales se repartieron aleatoriamente en el estado de Sonora. Este tamaño de muestra tiene un nivel de confianza del 95% y un error estimado del 5%, utilizado para condiciones de validez cuando el estimador del parámetro tiene un comportamiento normal (Barón y Téllez, 2004).

### 2.2 Instrumento

Se ha utilizado en este trabajo el cuestionario conocido como MASLACH BURNOUT INVENTORY (MBI) por haber sido ya validado y aplicado en países como España, Chile y Argentina, (Carpio, 2008). Fue desarrollado por Maslach y Jackson (1981). Los Profesores Pedro Gil-Monte y José María Peiró han sometido a prueba a este instrumento en estudios previos (Gil-Monte, 2005; Gil-Monte y Peiró, 1999) adaptándolo al español y validándolo para su uso en el contexto latinoamericano.

El cuestionario consta de 34 ítems (12 referentes al perfil ejecutivo y de organización y 22 referentes al MBI). Los 22 ítems del MBI que, según indica el manual, se distribuyen en tres escalas denominadas Logros Personales (LP) (8 ítems), Agotamiento Emocional (AE) (9 ítems) y Despersonalización (DP) (5 ítems). El formato de respuesta utilizado en el estudio fue el de frecuencia. Según este modo de respuesta, los sujetos valoraban cada ítem del cuestionario con una escala tipo likert en la que indicaban con qué frecuencia habían experimentado en el último año la situación descrita por el ítem. La escala de frecuencia recorre cinco grados que van de 1 (nunca) a 5 (siempre).

### 2.3 Análisis de Datos

Una vez, obtenidos los valores de las encuestas, estos mismos datos fueron registrados en una base de datos; luego se aplicó el Análisis de Factores. El Análisis de

Factores tiene como objeto simplificar las múltiples y complejas relaciones que puedan existir entre un conjunto de variables observadas, tratando de encontrar dimensiones o factores comunes que ligan a las aparentes no relacionadas variables. Concretamente, se trata de encontrar un conjunto de factores no directamente observables  $F_1, F_2, \dots, F_k$  que expliquen suficientemente a las variables observadas ( $X_1, X_2, \dots, X_p$ ) perdiendo el mínimo de información, de modo que sean fácilmente interpretables <Principio de Interpretabilidad> y que sean los menos posibles, es decir,  $k$  pequeño <Principio de Parsimonia> (Pérez, 2004). Una buena solución factorial es aquella que es sencilla e interpretable (Hair et al. 2010).

El análisis de los datos se efectuó mediante el paquete estadístico SPSS 20 para Windows. Para determinar la validez de constructo se aplicó Análisis Factorial con el método de Componentes Principales con rotación Varimax para la extracción de factores. Después se utilizó estadística descriptiva, (media y desviación típica para determinar los parámetros de cada dimensión, así como el Nivel de Burnout). Se determinó la confiabilidad mediante la prueba del Alpha de Cronbach, para evaluar la consistencia interna de la escala y, por último, se realizaron los Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar los efectos del género sobre el padecimiento de Burnout con una significancia del 5%. Se utilizó la escala de Likert del 1 al 5, clasificando los promedios de los valores de cada una de las tres dimensiones que caigan en valores menores a 1,25 se consideran de nivel bajo. Los promedios mayores a 1,25 y menores o iguales a 2,5 se les consideran de nivel medio. A los promedios que caigan entre 2,501 y 3,75 se les considera de nivel medio alto y a los promedios de las dimensiones que sobrepasen de 3,75 se les considera de nivel alto (Maslach y Jackson, (1981); avalado por Mansilla, (2011) y replanteado por Reyes, (2012)).

La hipótesis en torno a las cuales se desarrolló el presente trabajo es la siguiente:

**Ho:** No hay diferencia significativa en el Nivel de Burnout en los Mandos de las MIPYMES de Alimentos y Bebidas de Sonora dirigidas por hombres o por mujeres.

### 3 | ANÁLISIS DE RESULTADOS

La medición del Burnout y la determinación de sus niveles en cuanto a su escala de medición se llevó a cabo para determinar los niveles que se presentan a continuación.

- La muestra analizada arrojó que el 100% del total de las empresas encuestadas son MIPYMES. Por otro lado, se tiene que el 54,2% de los mandos de estas empresas son hombres y el 45,8% son mujeres.
- **El 42,7%** de los encuestados padecen Burnout de los cuales el 22,6% lo padecen hombres en su mayoría en el rango de edad de más de 45 años seguido muy de cerca por el rango de 25 a 35 años. El 20,6% corresponde a mujeres en su mayoría entre 35 y 45 años.
- **Del 42,7%** de los encuestados con síndrome de Burnout:

- El **16,83%** de los encuestados lo padecen en **niveles altos con estrés laboral crónico**
- El **25,87%** de los encuestados lo padecen en **niveles medio a altos** (más cerca de alto en la escala), (Maslash y Jacson, 1981; Gil-Monte y Peiró, 1999; Carpio, 2008; Claro, 2009; Cadena, 2013).
- El **36,1%** de los encuestados están en peligro de padecer Burnout ya que sus medidas caen en el **nivel medio**, marcando con ello niveles de estrés que si se éste se vuelve crónico se convertirá en SB.
- El **22,2%** de los encuestados **no presenta** evidencias de padecer Burnout.

El Análisis de Factores explica un conjunto de variables observadas por un pequeño número de variables latentes, o no observadas (Peña, 2002). Estudia la estructura en las relaciones entre un grupo de variables para reducir su número; asume que las correlaciones entre variables se deben a la existencia subyacente de factores comunes entre ellas (Garmendia, 2007). Ante la necesidad de conocer las relaciones entre las variables, surge la necesidad de efectuar un Análisis de Factores (Cadena, 2013). La validez factorial se llevó a cabo en un estudio aparte para determinar la confiabilidad y los distintos tipos de validez de instrumentos que marca el análisis factorial (Cadena, Romero y Vega, 2013).

En la tabla 1 se presentan los resultados de la matriz de componentes rotados. Esta matriz fue obtenida utilizando como método e rotación el criterio Varimax (Káiser, 1958). En la tabla 2 se muestran los factores obtenidos.

	Componentes			
	1	2	3	4
V14	0,825			
V13	0,817			
V20	0,676			
V15	0,680			
V26	0,670			
V18	0,520			
V29		0,716		
V30		0,674		
V16		0,645		
V19		0,632		
V31		0,622		
V21		0,604		
V24		0,591		
V17		0,523		
V23				0,633
V22				0,623

V32	0,602
V28	0,528
V34	0,507
V25	0,502
V27	0,497

Tabla 1. Matriz de componentes rotados

Fuente: Elaboración propia obtenida de SPSS 20.

<b>AE 14</b>	Cuando termino mi jornada de trabajo me siento cansado
<b>AE 13</b>	Me siento emocionalmente agotado por mi trabajo
<b>AE 20</b>	Siento que mi trabajo me está desgastando
<b>AE 15</b>	Cuando me levanto y me encuentro frente a otra jornada de trabajo, me siento fatigado
<b>AE 26</b>	Siento que estoy trabajando demasiado
<b>AE 18</b>	Trabajar todo el día con mucha gente es un esfuerzo
<b>LP 29</b>	Puedo crear fácilmente una atmósfera relajada con mis clientes
<b>LP 30</b>	Me siento estimulado después de trabajar con mis clientes
<b>LP 16</b>	Comprendo fácilmente como se sienten los clientes
<b>LP 19</b>	Trato muy eficazmente los problemas con los clientes
<b>LP 31</b>	He conseguido muchas cosas valiosas con mi trabajo
<b>LP 21</b>	Creo que influyo positivamente con mi trabajo en la vida de las personas
<b>LP 24</b>	Me siento con mucha energía en mi trabajo
<b>LP 17</b>	Trato a algunos clientes como si fueran objetos impensables
<b>DP 23</b>	Me preocupa que este trabajo me esté endureciendo emocionalmente
<b>DP 22</b>	Me he vuelto más insensible con la gente desde que ejerzo esta profesión
<b>DP 32</b>	Me siento acabado
<b>DP 28</b>	Siento que trabajar directamente con personas me produce estrés
<b>DP 34</b>	Siento que los clientes me culpan por algunos de sus problemas
<b>DP 25</b>	Me siento frustrado en mi trabajo

Tabla 2. Factores que determinan el nivel de Burnout

Fuente: Elaboración propia obtenida de SPSS 20.

Se determinó la consistencia interna del instrumento mediante el Alpha de Cronbach, para posteriormente hacer el análisis estadístico (medias y desviaciones típicas para determinar los índices de cada dimensión), así como el Nivel de Burnout a través de los coeficientes de Pearson, porque su covarianza es independiente de la escala de medida de las variables. Por último, se aplicó el análisis de varianza para determinar los efectos del género en SB.

Se determinó la confiabilidad del instrumento por género resultando un Alpha de Cronbach de 0,811 para los hombres y para las mujeres de 0,865. También se determinó la fiabilidad para el instrumento en forma global (estudio total y no por suma de escalas

o dimensiones) arrojando una Alpha de 0,868, tal y como se muestra en la Figura 1. Este valor indica que se tiene un instrumento con buen nivel de consistencia interna (Oviedo y Campos-Arias, 2005).

	Ítems	Media	Alpha de Cronbach	No. de elementos
Burnout Global	P13-P34	2,26	0,868	22
Burnout Hombres	P13-P34	2,22	0,811	22
Burnout mujeres	P13-P34	2,31	0,865	22

Figura 1. Estadísticos de fiabilidad globales (Ítems P13 a P34 corresponden a MBI).

Fuente: Elaboración propia.

También se determinó el Alpha de Cronbach para las dimensiones de Burnout, observándose en todos los casos valores aceptables, lo cual indica que se tiene un nivel fiabilidad bueno (Figura 2). Valores de Alpha de Cronbach entre 0,7 y 0,9 indican buena consistencia interna (Oviedo y Campos-Arias, 2005).

No.	Dimensiones	Alfa de Cronbach	Medias	
			Hombres	Mujeres
1	Agotamiento Emocional (AE)	0,871	2,2319	2,3511
2	Despersonalización (DP)	0,794	2,0325	2,0345
3	Logros Personales	0,865	2,3140	2,4393

(1) Nunca (2) Raramente (3) Algunas Veces (4) Muchas Veces (5) Siempre

Tabla 2. Estadísticos de fiabilidad por dimensión y Escala Likert

Fuente: Elaboración propia.

## Análisis descriptivo global de Burnout

En este estudio se utilizó el Instrumento MBI. Este cuestionario se compone de tres dimensiones con 22 ítems (P13 a P34). Se determinó que el Nivel de Burnout para estas MIPYMES es de 2,26, lo cual indica que el Nivel de Burnout en forma general se encuentra en el nivel medio. Este Nivel global para los hombres fue de 2,22 contra 2,31 para las mujeres. Como se puede observar numéricamente se tiene una puntuación media mayor para las mujeres que para los hombres.

### Análisis descriptivo por dimensiones de Burnout.

En la figura 2 se muestran los Niveles de SB de las dimensiones que conforman su constructo, por lo que se puede ver que las mujeres tuvieron numéricamente mayor media que los hombres en las dimensiones: Agotamiento Emocional (2,35 vs 2,23), en Despersonalización (2,034 vs 2,032) y en Logros Personales (2,44 vs 2,31). Con esto se

puede observar que las mujeres, aunque de forma muy poco mayor, son más propensas a padecer SB.

### Contrastación de las hipótesis

La hipótesis se comprobó mediante análisis de varianza, donde la variable de agrupación fue el género, para lo cual se utilizó el programa SPSS20 con un nivel de confianza de 95% y se encontró lo siguiente:

#### Ho: No hay diferencia significativa en el Nivel de Burnout de las MIPYMES de Alimentos y Bebidas dirigidas por hombres o mujeres

Al aplicar el análisis de varianza (ANOVA), se puede observar en la Figura 4, en la columna de significancia los valores son mayores que el valor de referencia que es 0,05, con lo que se puede concluir que no existe diferencia significativa en el Nivel de Burnout de estas MIPYMES dirigidas por hombres o por mujeres. Así como tampoco hubo diferencia significativa entre cada una de las dimensiones (Figura 3). Por último, se realizó el análisis desglosando del constructo SB por ítems, se encontró que los hombres se autocalificaron más alto que las mujeres en un ítem referente al compromiso e implicación en el trabajo y las mujeres se autocalificaron más alto en un ítem referente a Nivel de estrés (Nivel de Significancia < 0,05). (Figura 4).

**ANOVA de un Factor para el Nivel de Burnout y sus Dimensiones**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
AE	Inter-grupos	1,189	1	1,187	2,234	0,136
	Intra-grupos	180,347	341	0,533		
	Total	181,530	342			
LP	Inter-grupos	1,331	1	1,332	2,536	0,112
	Intra-grupos	177,925	341	0,525		
	Total	179,255	342			
DP	Inter-grupos	0,000	1	0,000	0,001	0,981
	Intra-grupos	169,419	341	0,500		
	Total	169,419	342			
NB	Inter-grupos	0,758	1	0,758	2,411	0,121
	Intra-grupos	106,686	341	0,315		
	Total	107,445	342			

Tabla 3. ANOVA de un factor para Nivel de Burnout y sus dimensiones

Fuente: Elaboración propia.

**ANOVA de un Factor por Ítem para Burnout**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
P13	Inter-grupos	1,918	1	1,918	2,236	0,136
	Intra-grupos	290,797	339	0,858		
P14	Inter-grupos	0,020	1	0,020	0,019	0,890
	Intra-grupos	352,696	339	1,040		
P15	Inter-grupos	1,560	1	1,560	1,662	0,198
	Intra-grupos	318,252	339	0,939		
P16i	Inter-grupos	1,511	1	1,511	1,322	0,251
	Intra-grupos	387,574	339	1,143		
P17	Inter-grupos	0,017	1	0,017	0,015	0,902
	Intra-grupos	376,839	339	1,112		
P18	Inter-grupos	1,706	1	1,706	1,204	0,273
	Intra-grupos	480,189	339	1,416		
P19i	Inter-grupos	2,586	1	2,586	1,655	0,199
	Intra-grupos	529,766	339	1,563		
P20	Inter-grupos	0,101	1	0,101	0,071	0,790
	Intra-grupos	482,532	339	1,423		
P21i	Inter-grupos	0,140	1	0,140	0,103	0,748
	Intra-grupos	460,558	339	1,359		
P22	Inter-grupos	0,010	1	0,010	0,007	0,932
	Intra-grupos	453,439	339	1,338		
P23	Inter-grupos	0,132	1	0,132	0,099	0,753
	Intra-grupos	450,842	339	1,330		
P24i	Inter-grupos	6,873	1	6,873	5,997	0,015
	Intra-grupos	388,535	339	1,146		
P25	Inter-grupos	2,533	1	2,533	2,698	0,101
	Intra-grupos	318,294	339	0,939		
P26	Inter-grupos	0,030	1	0,030	0,025	0,873
	Intra-grupos	400,832	339	1,182		
P27	Inter-grupos	0,011	1	0,011	0,007	0,931
	Intra-grupos	512,341	339	1,511		
P28	Inter-grupos	5,710	1	5,710	4,559	0,033
	Intra-grupos	424,601	339	1,253		
P29i	Inter-grupos	1,672	1	1,672	1,300	0,255
	Intra-grupos	436,099	339	1,286		
P30i	Inter-grupos	0,435	1	0,435	0,381	0,538
	Intra-grupos	386,973	339	1,142		

P31i	Inter-grupos	0,115	1	0,115	0,098	0,755
	Intra-grupos	400,682	339	1,182		
P32	Inter-grupos	1,570	1	1,570	1,549	0,214
	Intra-grupos	342,442	338	1,013		
P33i	Inter-grupos	1,214	1	1,214	0,927	0,336
	Intra-grupos	443,912	339	1,309		
P34	Inter-grupos	0,025	1	0,025	0,019	0,890
	Intra-grupos	436,972	339	1,289		

Figura 4. Resumen ANOVA por Ítem para Nivel de Burnout

Fuente: Elaboración propia.

## 4 | DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio contribuyen al entendimiento del género, Nivel de Burnout y sus consecuencias para la persona y las empresas tomando en consideración el contexto de MIPYMES de Alimentos y Bebidas en el Estado de Sonora. Según la literatura hay investigadores que han mostrado que sí existe influencia del género tanto en Burnout como en los resultados de su medición del desempeño. Hay estudios en donde las mujeres son ligeramente más propensas al agotamiento emocional y bajos logros personales mientras que los hombres resultan más propensos a la despersonalización, siendo estas las tres dimensiones de Burnout (Du Rietz y Henrekson 2000; Rosa, Carter, y Hamilton 1996; Golembieski, Munzenrider, 1988;). Por otro lado, se tienen investigaciones realizadas en las que no se encontró diferencia significativa en cuanto al género, Burnout y los resultados (Cadena Badilla, 2013; Jonson y McMahon 2005; Watson 2002; Anna et al. 2000; Zabel y Zabel, 1982); (Aranda, 2006) y Aldrete et. Al. 2008. Estos últimos estudios no presentan suficiente rigor científico como análisis multifactorial, alta fiabilidad, validez de contenido, validez de criterio, validez concurrente, validez predictiva y validez de constructo; requisitos suficientes y necesarios para poder relacionar el género con el Nivel de Burnout.

Al analizar la hipótesis (Ho: No hay diferencia significativa en el Nivel de Burnout de las MIPYMES estudiadas dirigidas por hombres o mujeres) se puede visualizar en la Figura 3 que no hay diferencia significativa en los Niveles de Burnout con respecto al género. Aunque sí bien es cierto que los hombres tuvieron una media numéricamente mayor, pero estadísticamente con un nivel de significancia del 5% no hubo diferencia.

## 5 | CONCLUSIONES

En los resultados de este trabajo se puede ver que las mujeres día a día están incrementando su participación en la vida económica de México, en este estudio el 45,8% de los dirigentes de las MIPYMES estudiadas en el estado de Sonora, son del sexo femenino y el 54,2% son hombres por lo que se puede pensar que muy pronto igualaran en

número a los hombres como empresarias.

Las mujeres presentaron puntuaciones ligeramente mayores que los hombres en las dimensiones que componen el constructo de Burnout. También en el análisis por Ítems, en un Ítem (P24) los hombres presentaron una puntuación promedio ligeramente más alta que las mujeres; en un Ítem (P28) las mujeres marcaron puntuación ligeramente más alta que los hombres, pero estadísticamente no fueron significativos en los resultados globales.

El aporte de este trabajo es proporcionar conocimiento acerca del género para contribuir en la igualdad de oportunidades tanto para los hombres como para las mujeres. También se puede ver aquí que resulta ser un mito la idea de que la mujer, por su duplicidad de carga de trabajo y responsabilidades al atender su empleo y hogar, sea más propensa a tener menos logros profesionales y un mayor estrés lo que la llevaría a padecer Burnout. Es evidente que este trabajo no es capaz de proporcionar el panorama completo de la salud mental de quienes están al frente de forma cotidiana de estas empresas. Resulta conveniente recomendar que se realicen este tipo de estudios a profesionales de las distintas ramas ocupacionales ya que el SB afecta cada vez a más ámbitos laborales. Esta recomendación se basa también en el hecho de que es muy necesario realizar Estudios Transocupacionales que muestren cómo se desarrolla el SB en las diferentes profesiones.

## REFERENCIAS

Anna, A. L., G. N. Chandler, E. Jansen, y N. P. Mero (2000). "Women Business Owners in Traditional y Non-Traditional Industries," *Journal of Business Venturing* 15, 279–303.

Adrete, González y Preciado. (2008). Factores psicosociales laborales y el Síndrome de Burnout en docentes de enseñanza media básica (secundaria) de la zona metropolitana de Guadalajara, México. *Revista Chilena de Salud Pública* 2008; Vol 12 (1): 18-25.

Aranda, C. (2006). Diferencias Por Sexo, Síndrome de Burnout y Manifestaciones Clínicas, en los Médicos Familiares de dos Instituciones de Salud, Guadalajara, México. *Revista Costarricense de Salud Pública* Año 15. No. 29. 1-7- 2006. <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v15n29/3316.pdf>

Barón, F., Téllez, F. (2004). Apuntes de Bioestadística: Tercer Ciclo en Ciencias de la Salud y Medicina. Departamento de Matemáticas Aplicada. Universidad de Málaga. <http://www.bioestadistica.uma.es/baron/apuntes/ficheros/cap02.pdf>

Cadena-Badilla, J. (2013). Estrategias Propuestas para Reducir el Nivel de Burnout en los Mandos Medios de las MIPYMES del Sector de Alimentos y Bebidas con un Proceso de Transformación, en el Estado de Sonora. Tesis Doctoral. Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP). Puebla, México. Septiembre de 2013.

Cadena-Badilla, J., Romero, L. y Vega, R. (2013). Validez Factorial del MBI Aplicado a un Estudio de Medición del Nivel de Burnout en los Mandos de las MIPYMES de Alimentos y Bebidas en el Estado de Sonora, México. VI Simposio Internacional de Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias 2013 Universidad de Carabobo, Pontificia Universidad Javeriana, Universidad de los Andes y Red Internacional de Investigadores en Ingeniería Industrial. Bogotá, Colombia. Memorias ISSN: 1856-8351.

Calderón, B. (2016). Importancia de las PYMES en México. Ensayo. Doctorado en Administración, Universidad del Sureste. México 2016. Recuperado 15 de mayo de 2017. <https://es.slideshare.net/BlancaLiliaCalderonE/importancia-de-las-pymes-en-mxico-formato>

Carpio, D. (2008). "Comparación de Tres Instrumentos de Medición para la Evaluación del Burnout" Tesis de Licenciatura no publicada. Universidad de Sonora, Hermosillo Sonora, México. Septiembre de 2008.

Claro, V., 2009 Comprobación De La Estructura Trifactorial Del Inventario General Maslach Para Burnout Y De La Escala Holandesa Para Compromiso Laboral. Tesis De Maestría. Hermosillo, Universidad de Sonora. Recuperado de [http://www.bibliotecadigital.uson.mx/bdg\\_tesisIndice.aspx?tesis=21156](http://www.bibliotecadigital.uson.mx/bdg_tesisIndice.aspx?tesis=21156)

Carrasco A. (2005). La micro y pequeña empresa mexicana, Observatorio de la Economía Latinoamericana, Número 45, julio 2005. En <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/index.htm>

Davis, P., Babakus E., Englis, P. y Pett, T. (2010). The Influence of CEO Gender on Market Orientation and Performance in Service and Medium-Sized Service Businesses. *Journal of small Business Management*, 48(4), 475-496.

Diario Oficial de la Federación. (2009). Diario Oficial de la Federación 25 de Junio de 2009. Extraído en Diciembre de 2011 desde [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=716999&fecha=30/12/2012](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=716999&fecha=30/12/2012)

Du Rietz, A., y M. Henrekson (2000). Testing the Female Underperformance Hypothesis, *Small Business Economics*, 14, 1–10.

Fasci, M. A., y J. Valdez (1998). A Performance Contrast of Male- y Female-Owned Small Accounting Practices, *Journal of Small Business Management* 36(3), 1–7.

Fischer, E. M., A. R. Reuber, y L. S. Dyke (1993). A Theoretical Overview y Extension of Research on Sex, Gender, y Entrepreneurship, *Journal of Business Venturing* 8, 151–168.

Freudenberger, H. (1974). Saff burn-out. *Journal of Social Issues*, 30, 1974, pp. 159-166.

García M. (1995). Evaluación del burnout: estudio de la fiabilidad, estructura empírica y validez de la escala EBP. *Ansiedad y Estrés*, 1(2-3), 219-229.

Garmendia, M. (2007). Análisis factorial: una aplicación en el cuestionario de salud general de Goldberg, versión de 12 preguntas. *Revista de Salud Pública de Chile*. 11(2). 57-65.

Gil-Monte, P. (2005). Factorial Validity of the Maslach Burnout Inventory (MBI-HSS) among Spanish professionals. *Revista de Saúde Pública*, 39(1), 1-8. [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0034-89102005000100001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0034-89102005000100001&script=sci_arttext) DOI: S0034-89102005000100001

Gil-Monte, P, y Peiró, J. (1999). Validez factorial del Maslach Burnout Inventory en una muestra multicupacional. *Psicothema*, 11(3), 679-689.

Golembiewski, R., Munzenrider, R. (1988). Phases of Burnout: Development in Concepts and Occupations. New York. Ed. Praeger.

Hair, J., Anderson, R., Tatham, R. y Black, W. (2010). *Análisis Multivariante*. 5ta. Ed. Ed. Pearson Prentice Hall Madrid 2010.

Hopkins, J. (2003). *Female Owned Businesses Flourish*, USA Today [electronic version]. [http://www.usatoday.com/money/smallbusiness/2003-05-05-women\\_x.htm](http://www.usatoday.com/money/smallbusiness/2003-05-05-women_x.htm) (Extraído en Feb 10, 2013).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015). Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) es un organismo del Gobierno federal de México. Censos Económicos 2014. Resultados corregidos a 2015. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ce/ce2014/>

Johnson, G., y R. G. McMahon (2005). Owner-Manager Gender, Financial Performance y Business Growth Amongst SMEs from Australia's Business Longitudinal Survey, *International Small Business Journal* 23, 115–142.

León, J. (2006). Metodología Cuantitativa Para La Clasificación Y Evaluación Del Síndrome Burnout En Actividades Industriales Específicas. *Job Burnout. Annual Review Of Psychology*, (10), 52, 397-442.

Mansilla, F. (2011). Riesgos Psicosociales en el trabajo. Teoría y práctica. *Revista de Psicología on Line*, <http://hdl.handle.net/10401/3030>

Maslach, C. y Jackson, S. (1981). «The measurement of experienced burnout», *Journal of Occupational Behavior*, 2, 99- 113.

Maslach, C., Schaufeli, W. y Leiter, M. (2001). *Job Burnout. Annual Review of Psychology*, 52, 397-422.

National Women's Foundation (2004). "Capturing the Impact: Women-Owned Businesses in the United States," Center for Women's Business Research. <http://www.nfwbo.org/pressreleases/nationalstatetrends/capturingtheimpact.htm> (Extraído en Feb 10, 2013).

OIT (2014). Organización Mundial del Trabajo. XX Congreso Mundial sobre Salud y Seguridad en el Trabajo. <http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/lang--es/index.htm>

OIT (2015). *La mujer en la gestión empresarial: Cobrando impulso. Informe Mundial*. ILO - Bureau for Employers' Activities (ACT/EMP). ISBN: 978-92-2-328874-7. Suiza 2015.

Oviedo H. y Campos-Arias (2005). Metodología de la Investigación y lecturas críticas: Aproximación al uso del coeficiente de Alpha de Cronbach. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 34(4), 572-580.

Peña, D. (2002). *Análisis de datos multivariantes*. Madrid: McGraw-Hill.

Rosa, P., S. Carter, y D. Hamilton (1996). "Gender as a Determinant of Small Business Performance: Insights from a British Study," *Small Business Economics* 8, 463–478.

Reyes, C. (2012). *Burnout y Engagement y sus Efectos en Estudiantes de Posgrado de la Universidad de Sonora que Conllevan a la Determinación de su Eficiencia Terminal*. Tesis de Maestría no publicada. Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Industrial. Posgrado en Ingeniería Industrial.

Secretaría de Economía (2015). *Catálogo Bianual de Empresas MIPYMES y sus Giros Comerciales*. [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/84433/Informe\\_Sonora\\_2015.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/84433/Informe_Sonora_2015.pdf)

UGT. (2006). Guía sobre el Síndrome del Quemado Burnout. Revista Observatorio Permanente y Riesgos Psicosociales. Edita: Comisión Ejecutiva Confederal de UGT.. Madrid 2006

Vega-Robles, A., Romero, L., y Cadena-Badilla, J. (2013). Efecto del género de los gerentes en la orientación al mercado y los resultados de las MIPYMES (hoteles) en el Estado de Sonora, México. Ponencia. Memorias del VI Simposio Internacional de Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias 2013. Universidad de Carabobo, Pontificia Universidad Javeriana, Universidad de los Andes y Red Internacional de Investigadores en Ingeniería Industrial Bogotá, Colombia, Julio 24, 25 y 26, 2013. ISSN: 1856-8351

Watson, J. (2002). "Comparing the Performance of Male- and Female-Controlled Businesses: Relating Outputs to Inputs," *Entrepreneurship Theory y Practice* 26(3), 91–101.

Zabel, R., y Zabel, M. (1982). Factors involved in burnout among teachers of exceptional children. *Exceptional Children*. Vol. 49, 261-263.

## ESTUDIO SOBRE LA APLICABILIDAD DE LOS RESIDUOS EN LA PRODUCCIÓN DE GEOPOLÍMEROS PARA USO EM HORMIGÓN

*Data de aceite: 03/10/2022*

*Data de submissão: 02/10/2022*

### **Laryssa Oliveira Bento**

Universidade Estadual do Maranhão  
Bacabal – Maranhão  
<http://lattes.cnpq.br/5660871261959403>

### **Thamila Barroso de Moura Alves**

Universidade Estadual do Maranhão  
Bacabal – Maranhão  
<http://lattes.cnpq.br/5051879178810600>

### **Amanda Fernandes Pereira da Silva**

Engenheira Civil  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/6687283757018503>

### **Crisnam Kariny da Silva Veloso**

Engenheira Civil  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/3377864410594838>

### **Alisson Rodrigues de Oliveira Dias**

Universidade Estadual do Piauí  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/7625882727010720>

**RESUMEN:** Debido a que la industria de la construcción es uno de los sectores más importantes de la economía, es necesario estudiar nuevos materiales que puedan ser utilizados, con el fin de preservar los recursos naturales y, así, reducir los impactos ambientales causados en la producción de concreto, haciéndolo el más sostenible. Un material que ha demostrado

tener un potencial ecológico con características cementosas y que reduce los impactos ambientales es el geopolímero, que puede utilizarse en sustitución del cemento Portland. A partir de este contexto, esta investigación aborda con detenimiento algunos de los principales residuos que son aprovechables en la producción de este cemento alternativo, lo que contribuirá a la difusión del conocimiento y servirá de base para futuras investigaciones. Para ello, se realizará un análisis crítico de la producción bibliográfica relevante en los últimos años sobre los principales residuos que pueden ser utilizados como precursores en la producción de geopolímeros.

**PALABRAS CLAVE:** Activación alcalina, Compuestos de cemento, Materiales alternativos, Geopolimerización.

### ESTUDO ACERCA DA APLICABILIDADE DE RESÍDUOS NA PRODUÇÃO DE GEOPOLÍMEROS PARA UTILIZAÇÃO EM CONCRETOS

**RESUMO:** Pelo fato da indústria da construção civil ser um dos setores mais importantes da economia, é necessário o estudo de novos materiais que possam ser empregues, afim de preservar os recursos naturais e, assim, reduzir os impactos ambientais provocados na produção de concreto tornando-o mais sustentável. Um material que tem se mostrado com um potencial ecológico com características cimentícias e que reduz impactos ambientais é o geopolímero, o qual pode vir a ser utilizado em substituição ao cimento Portland. A partir deste contexto, essa

pesquisa aborda, de forma criteriosa, alguns dos principais resíduos que são utilizáveis na produção desse cimento alternativo, a qual contribuirá para a disseminação de conhecimento e servirá de base para pesquisas futuras. Para isso, será feita uma análise crítica da produção bibliográfica relevante dos últimos anos acerca dos principais resíduos que podem ser utilizados como precursores na produção de geopolímeros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ativação alcalina, Compósitos cimentícios, Materiais alternativos, Geopolimerização.

## STUDY ABOUT THE APPLICABILITY OF WASTE IN THE PRODCUTION OF GEOPOLYMERS FOR USE IN CONCRETE

**ABSTRACT:** Because the construction industry is one of the most important sectors of the economy, it is necessary to study new materials that can be used in order to preserve natural resources and thus reduce the environmental impacts caused by the production of concrete. more sustainable. A material that has been shown to have an ecological potential with cementitious characteristics and which reduces environmental impacts is geopolymer, which can be used as a replacement for Portland cement. From this context, this research carefully addresses some of the main residues that are usable in the production of this alternative cement, which will contribute to the dissemination of knowledge and serve as a basis for future research. For this, a critical analysis of the relevant bibliographic production of recent years will be made about the main residues that can be used as precursors in the production of geopolymers.

**KEYWORDS:** Alkaline activation, Cementitious composites, Alternative materials, Geopolymerization.

## 1 | INTRODUÇÃO

Es indiscutible que, desde una perspectiva global, “desarrollo sostenible” es un término que se menciona con frecuencia hoy en día, ya que las consecuencias ambientales de la mala gestión de los recursos naturales del mundo están siendo sentidas por todos de manera más concreta y visible. Dado que la construcción civil es una parte importante de los problemas que viene sufriendo el medio ambiente, es imperativo desarrollar técnicas y materiales menos agresivos, pero que aporten versatilidad de usos y propiedades (SCHEIFER; CALLEJAS, 2021).

Una actividad de la construcción que genera grandes impactos ambientales y sociales es la fabricación de cemento Portland, debido al alto consumo de energía y materias primas, además de la gran producción de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Según Maury y Blumenschein (2012), esta actividad genera impactos ambientales y sociales, afectando directamente la salud humana desde la extracción de la materia prima, generando degradación del medio natural, hasta la fase de clinkerización, emitiendo fuertes concentraciones de gases de efecto invernadero.

Con esto en mente, se buscan materiales que puedan reemplazar al cemento Portland. Una opción viable es la aplicación de geopolímeros, que son polímeros inorgánicos

con estructuras tridimensionales de Si-O-Al sintetizados a partir de aluminosilicatos que pueden disolverse en un medio alcalino, es decir, una mezcla de precursor, activador y agua. Siendo una alternativa ecológicamente correcta al cemento Portland tradicional, ya que su producción utiliza menos energía, emite menos gases de efecto invernadero y tiene una mayor durabilidad (AYGORMEZ; CANPOLAT; AL-MASHHADANI, 2020).

Como sustituto del cemento Portland común, los materiales geopoliméricos tienen propiedades similares a los materiales a base de cemento, y actualmente están vinculados a la investigación de productos con propiedades favorables para reemplazar los materiales a base de cemento y son atractivos en el mercado. La palabra “geopolímero” se refiere a productos derivados de reacciones específicas entre aluminosilicatos sólidos y soluciones acuosas de silicatos o hidróxidos de metales alcalinos (ZHANG *et al.*, 2016).

Los materiales utilizados para la obtención de los geopolímeros pueden ser compuestos industrializados (caolín y metacaolín), subproductos de procesos industriales (cenizas volantes y escorias siderúrgicas) o subproductos agroindustriales (cenizas de cascarilla de arroz, cenizas de aceite de palma, etc.). Entre las mencionadas, la ceniza de residuos agrícolas es la más utilizada. Esto se debe al bajo costo de estos recursos renovables, la disponibilidad real y la excelente reactividad de estas cenizas residuales en la mezcla de concreto (ATAIE; RIDING, 2016).

Los estudios actuales demuestran la posibilidad de utilizar geopolímeros en la construcción civil, ya que tienen la propiedad de ser un ligante activado por solución alcalina, mejorando el comportamiento mecánico y la durabilidad del hormigón (AYGORMEZ; CANPOLAT; AL-MASHHADANI, 2020). Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo evaluar investigaciones que abordan los principales residuos utilizados para la fabricación de hormigón geopolimérico, discutir las soluciones alcalinas utilizadas y los resultados alcanzados con las diferentes pruebas aplicadas. El fundamento se basó en información sobre activación alcalina de residuos y aplicación en compuestos cementosos, buscando artículos publicados en las bases de datos Scopus, ScienceDirect y Web of Science utilizando las palabras clave geopolímeros, geopolímero cemento, activación alcalina, geopolimerización y hormigón.

## 2 | FABRICACIÓN DE GEOPOLIMEROS

Para la producción de geopolímeros se necesita una fuente de aluminosilicatos y una fuente acuosa de silicato o hidróxido alcalino. En teoría, cualquier material que contenga aluminio y sílice tiene el potencial de ser una fuente de aluminosilicato en el proceso de geopolimerización. La fuente de aluminosilicato se puede obtener directamente de la naturaleza, como en el caso del mineral caolín, o se pueden utilizar residuos industriales (FORNASA, 2017).

Generalmente, los materiales calcinados, las cenizas volantes, el metacaolín y

la escoria son amorfos (no muestran un ordenamiento de largo alcance). Esto hace que presenten, durante la geopolimerización, una mayor reactividad, similar a los materiales que no son calcinados, provocada por el hecho de que la calcinación activa cambia la estructura cristalina a amorfa en los materiales, consecutivamente con la acumulación de energía complementaria. En cuanto a la construcción civil, los geopolímeros de metacaolín son muy porosos y pueden requerir mucha agua y, por lo tanto, volverse muy blandos para este tipo de aplicación. Sin embargo, son importantes en las utilidades de adhesivos, recubrimientos e hidrocerámicas (MAJIDI, 2009).

Los principales factores que influyen en las propiedades del hormigón geopolimérico están relacionados con el tipo de ligante utilizado, la condición de curado y la molaridad de la solución activadora. Las activaciones alcalinas más utilizadas en el mercado para la producción de geopolímeros son el hidróxido de sodio (NaOH) o el hidróxido de potasio (KOH). En la mayoría de las investigaciones, el hidróxido de sodio es el más utilizado, ya que tiene un costo de producción mucho menor (GANESH; MUTHUKANNAN, 2021).

El tipo de material utilizado como activador químico y la cantidad de iones hidroxilo disponibles en la solución después del contacto con el agua influyen en el desarrollo de la resistencia del geopolímero producido, por lo tanto, al aumentar la concentración molar se obtiene una mayor resistencia. Para Komnitsas y Zaharaki (2007) el exceso de activador puede formar carbonato de sodio en contacto con el aire, provocando eflorescencias en la matriz del geopolímero.

La Figura 1 presenta un modelo resumido del mecanismo de geopolimerización. En el primer paso, al aumentar el pH de la solución, se rompen los enlaces Si-O-Si, Al-O-Si y Al-O-Al, dando como resultado una fase coloidal. Durante el proceso de gelificación, primero se forma un gel rico en alúmina, que luego se transforma en una segunda capa de gel rico en sílice, responsable de aumentar la resistencia mecánica. Después de la gelificación, el sistema continúa reorganizándose a medida que aumenta la conectividad de la red de gel, lo que resulta en la formación de redes tridimensionales de aluminosilicatos típicamente atribuidas a los geopolímeros (DUXSON *et al.*, 2007).

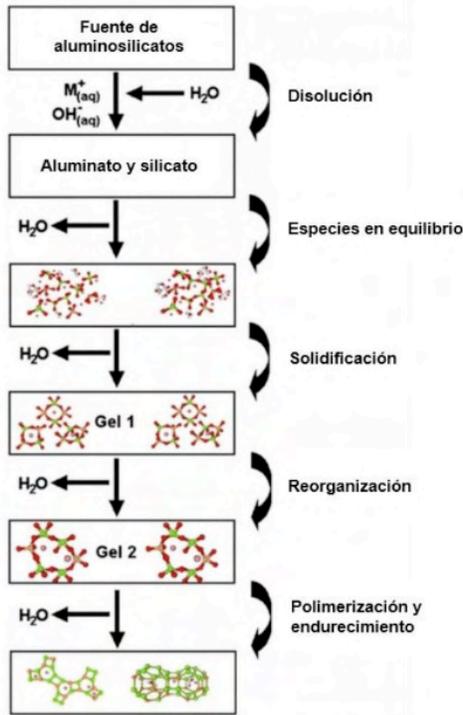


Figura 1 – Esquema representativo del proceso de geopolimerización.

Fuente: Traducido de DUXSON *et al.*, 2007.

### 3 | PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS

#### 3.1 Metacaolín

El metacaolín es un material aluminosilicato térmicamente activado, con alta actividad puzolánica, generado por la calcinación de arcillas caoliníticas a temperaturas entre 650 °C y 800 °C, dependiendo de la pureza y cristalinidad de las arcillas (LI; SUN; LI, 2010). La figura 2 muestra las materias primas utilizadas en el proceso de producción de hormigón geopolímero con metacaolín.



Figura 2 – Materias primas utilizadas en la producción de hormigón geopolímero con metacaolín.

Fuente: Traducid de ABBAS *et al.*, 2020.

En un estudio, Azevedo, Strecker y Lombardi (2018) explican sobre la producción de geopolímeros utilizando metacaolín y cerámica roja con solución activadora de hidróxido de sodio y silicato de sodio. Se estudiaron dos sistemas, uno a base de metacaolín y otro con la sustitución del 50% del metacaolín por cerámica roja. Los ensayos mostraron que el sistema a base de metacaolín presentó mejores propiedades físicas y mecánicas, como mayor resistencia a la compresión a los 28 días de curado, menor porosidad y menor absorción de agua. En comparación, el sistema con reemplazo de parte del metacaolín no trajo beneficios significativos, ya que obtuvo valores de resistencia más bajos y una estructura más favorable a la aparición de microfisuras, con mayor porosidad y mayor absorción de agua, sin embargo, las partículas cerámicas adhesión favorecida del ligando, lo que hace posible su uso cauteloso.

Paralelamente a esto, Frasson, pelisser y Silva (2020) analizaron fisuras de hormigón reparadas con cemento geopolimérico a base de metacaolín con solución activadora a partir de la disolución de hidróxido de sodio en silicato de sodio. El ensayo consistió en la producción de probetas que simulaban grietas en caras paralelas y opuestas, disponiendo además de un molde sin grietas para comparación. La reparación consistió en secar y limpiar los moldes, y rellenar las grietas por gravedad con el geopolímero. Los resultados mostraron que la pasta geopolimérica fue eficiente en restaurar las propiedades mecánicas de los moldes, ya que su resistencia a la compresión fue mayor o equivalente a la del molde sin fisurarse. Además, se comprobó una buena adherencia entre los materiales, ya que la ruptura de la probeta se produjo en el sustrato. Tales resultados muestran el potencial de aplicación de los cementos geopoliméricos.

Además de las mejoras mencionadas por los estudios anteriores, también se observó la posibilidad de aplicar geopolímeros con fines de aislamiento térmico, a partir de la producción de geopolímeros de baja conductividad térmica a través de diferentes porcentajes de formadores de poros. En la fabricación del geopolímero se utilizó metacaolín y el activador alcalino compuesto por hidróxido de sodio y silicato de sodio, y como formador de poros se utilizó peróxido de hidrógeno. Experimentalmente se comprobó que el formador de poros influía directamente en el número y volumen de poros, además de modificar la microestructura del geopolímero. Por lo tanto, cuanto mayor sea el porcentaje de peróxido de hidrógeno, mayor será el área de poro, lo que reduce la resistencia a la compresión y aumenta la capacidad de absorción de agua. Además, fue posible producir geopolímeros con conductividad térmica inferior a 0,09 W/m.K, gracias al aumento de la porosidad (FELIZARDO *et al.*, 2016).

### **3.2 Ceniza voladora**

Las cenizas volantes son un subproducto industrial de la combustión de carbón bituminoso o antracita formado con bajo contenido en calcio. Este material puede ser conocido como “ceniza de combustible pulverizado” y comprende partículas finas que son

el resultado de los gases de escape quemados que se forman en las centrales eléctricas (AZEVEDO *et al.*, 2017).

La composición química de los geopolímeros producidos es extremadamente importante para aumentar la resistencia mecánica y la trabajabilidad de los compuestos, según investigaciones (AZEVEDO *et al.*, 2017; AZEVEDO; STRECKER, 2017) con la producción de geopolímeros a través de cenizas volantes y diferentes activadores alcalinos, como  $\text{Na}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , mezclando a temperatura ambiente y curando durante 24 horas a una temperatura de 65 °C. Se observó que las propiedades físicas cambian cuando se cambia la activación de la ceniza. La resistencia mecánica aumenta hasta 48 MPa después de 28 días. Además, estas muestras mostraron baja permeabilidad, menor absorción de agua y baja porosidad, así como una mayor densidad aparente, características requeridas en un buen ligante.

El estudio de Livi y Repette (2017) observó que la resistencia de una mezcla de geopolímeros a base de cenizas volantes depende de la asociación entre la temperatura de curado y la concentración de NaOH. Para ello se realizó el estudio de la concentración alcalina y la temperatura de curado en geopolímeros mezclando cenizas volantes con NaOH, variando la temperatura de curado de 65 °C a 85 °C. Así, se observó que al aumentar la concentración molar y la temperatura de curado aumenta la resistencia mecánica de los geopolímeros.

### 3.3 Subproductos agroindustriales y siderúrgicos

Entre los residuos generados por la agroindustria se encuentra la ceniza de cascarilla de arroz proveniente del proceso de procesamiento del arroz. Este residuo puede presentar altos porcentajes de sílice reactiva o amorfa luego del proceso de quema controlada de cascarilla de arroz, la cual es generalmente utilizada en construcción civil en morteros y hormigones debido a su propiedad puzolánica (BEZERRA *et al.*, 2011).

Varios estudios han evaluado el uso de este material en la síntesis de geopolímeros. Arnold *et al.* (2017) evaluaron el comportamiento de morteros geopoliméricos a base de ceniza de cascarilla de arroz. Apolonio *et al.* (2020) también observaron que a partir de la disolución de la sílice presente en la ceniza de cascarilla de arroz era posible producir silicato de sodio alternativo. Con esto se desarrollaron geopolímeros cuyas relaciones molares de  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  de 3.0, 3.5 y 4.0 y con una concentración molar de NaOH de 8 y 10 Molar. En esta investigación se pudo concluir la factibilidad de utilizar ceniza de cascarilla de arroz para componer geopolímeros.

Como subproducto de la industria siderúrgica se obtiene la escoria, un material granulado con fase vítrea, compuesto básicamente por óxido de calcio, sílice y alúmina. Pereira, Ramos y Silva (2020) en su trabajo produjeron geopolímeros a partir de escoria procedente de la fabricación de acero convertidor de oxígeno. La activación se realizó con una solución alcalina de hidróxido de potasio (KOH) 8 Molar. Con esto se observó que el

comportamiento del geopolímero a partir de esta reacción tiene características admisibles para su uso en ingeniería.

## 4 | CONCLUSIÓN

El hormigón geopolímero es un hormigón único e innovador que se puede utilizar como una alternativa viable al hormigón convencional para minimizar los problemas ambientales que provoca su producción. Este artículo proporciona una revisión exhaustiva y conclusiones sobre los análisis de los estudios actuales sobre el hormigón elaborado a partir de subproductos industriales y agrícolas. De acuerdo con la investigación, se concluyó que el uso de residuos capaces de producir hormigones geopoliméricos como cenizas volantes, escorias, cenizas de cascarilla de arroz, caolín y metacaolín pueden ser activadores alternativos, cumpliendo los requisitos en cuanto a las propiedades que se espera utilizar dentro de la ámbito de la construcción civil. Por lo tanto, se debe destacar la investigación en esta área para el uso efectivo de los residuos industriales y agrícolas en el hormigón de cemento Portland.

## REFERENCIAS

ABBAS, R.; KHEREBY, M. A.; GHORAB, H. Y.; ELKHOSHKHANY, N. **Preparation of geopolymer concrete using Egyptian kaolin clay and the study of its environmental effects and economic cost.** Clean Technologies and Environmental Policy, v. 22, n. 1, p. 669–687, 2020.

APOLONIO, P. H.; LIMA, J. S.; MARINHO, E. P. NOBREGA, A. C. V.; FREITAS, J. C. O.; MARTINELLI, A. E. **Produção de geopolímeros utilizando cinza da casca de arroz como fonte complementar de sílica.** Cerâmica, v. 66, n. 1, p. 172-178, 2020.

ARNOLD, M. C.; VARGAS, A. S.; BIANCHINI, L. **Study of electric-arc furnace dust (EAFD) in fly ash and rice husk ash-based geopolymers.** Advanced Powder Technology, v. 28, n. 1, p. 2023-2034, 2017.

ATAIE, F. F.; RIDING, K. A. **Influence of agricultural residue ash on early cement hydration and chemical admixtures adsorption.** Construction and Building Materials, v. 106, n. 1, p. 274 – 281, 2016.

AYGORMEZ, Y.; CANPOLAT, O.; AL-MASHHADANI, M. M. **Assessment of geopolymer composites durability at one year age.** Journal of Building Engineering, v. 32, n. 1, 2020.

AZEVEDO, A. G. S.; STRECKER, K. **Influência da composição química das soluções alcalinas ativadoras na produção de geopolímeros a base de cinza volante.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 12, n.1, p. 39-46, 2017.

AZEVEDO, A. G. S.; STRECKER, K.; LOMBARDI, C. T. **Produção de geopolímeros à base de metacaulim e cerâmica vermelha.** Cerâmica, v. 64, n. 1, p. 388-396, 2018.

AZEVEDO, A. G.; STRECKER, K. ARAÚJO JR., A. G. SILVA, C. A. **Produção de geopolímeros à base de cinza volante usando soluções ativadoras com diferentes composições de Na<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>.** Cerâmica, v. 63, n. 1, p. 143-151, 2017.

BEZERRA, I. M. T.; SOUZA, J.; CARVALHO, J. B. Q.; NEVES, G. A. **Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 6, p. 639-645, 2011.

DUXSON, P.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; PROVIS, J. L.; LUKEY, G. C.; PALOMO, A.; VAN DEVENTER, J. S. J. **Geopolymer technology: the current state of the art**. Journal of Materials Science, v. 42, n. 9, p. 2917–2933, 2007.

FELIZARDO, V.; NANDI, V. S.; DONADEL, K.; NOVAIS, R.; LABRINCHA, J.; ZACCARON, A. **Desenvolvimento de geopolímeros de baixa condutividade térmica**. Revista Matéria, v. 21, n. 2, p. 429-436, 2016.

FORNASA, B. L. **Utilização de concreto reciclado para a produção de geopolímero**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Infraestrutura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2017.

FRASSON, B. J.; PELISSER, F.; SILVA, B. V. **Concrete crack repair analysis with metakaolin-based geopolymer cement**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 13, n. 2, p. 298-313, 2020.

GANESH, A. C.; MUTHUKANNAN, M. **Development of high performance sustainable optimized fiber reinforced geopolymer concrete and prediction of compressive strength**. Journal of Cleaner Production, v. 282, n. 1, 2021.

KOMNITSAS, K.; ZAHARAKI, D. **Geopolymerisation: A review and prospects for the minerals industry**. Minerals Engineering, v. 20, n. 14, p. 1261-1277, 2007.

LI, C.; SUN, H.; LI, L. **A review: The comparison between alkali-activated slag (Si+Ca) and metakaolin (Si+Al) cement**. Cement and Concrete Research, vol. 40, n. 1, p. 1341–1349, 2010.

LIVI, C. N.; REPETTE, W. L. **Effect of NaOH concentration and curing regime on geopolymer**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 10, n. 6, p. 1174-1181, 2017.

M. ZHANG, M. ZHAO, G. ZHANG, D. MANN, K. LUMSDEN, M. TAO. **Durability of red mudfly ash based geopolymer and leaching behavior of heavy metals in sulfuric acid solutions and deionized water**. Const. Build. Mat. v. 124, p. 373–382, 2016.

MAJIDI, B. **Geopolymer technology, from fundamentals to advanced applications: a review**. Materials Technology, v. 24, n. 2, p. 79-87, 2009.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHNEIN, R. N. **Produção de cimento: impactos à saúde e ao meio ambiente**. Sustentabilidade em Debate, v. 3, n. 1, p. 75-96, 2012.

PEREIRA, A. P. S.; RAMOS, F. J.; SILVA, M. H. **Caracterização estrutural de geopolímeros sustentáveis de escória de aciaria LD e escória de aciaria LF com KOH**. Revista Matéria, v. 25, n. 3, 2020.

SCHEIFER, D.M., CALLEJAS, I. J. A. **Caracterização física e mecânica de blocos de concreto com incorporação de areia de resíduo de construção civil**. Revista Matéria, v. 26, n. 4, 2021.

## ANÁLISIS MORFODINÁMICO DEL RÍO SINÚ ANTES Y DESPUES DE LA OPERACIÓN DE URRÁ I

*Data de aceite: 03/10/2022*

**Germán Vargas Cuervo**

Profesor Universidad Nacional de Colombia

**David Leonardo Valbuena Gaviria**

Universidad Nacional de Colombia

**RESUMEN:** Los sistemas fluviales de ríos tropicales de llanura, como el río Sinú presentan características geomorfológicas y morfodinámicas particularmente por su alta movilidad natural. La intervención antrópica de estos cauces por diferentes procesos urbanísticos, agropecuarios, o hidroeléctricos, afectan positiva o negativamente su sistema natural. La operación de embalses y presas localizados en los límites de las cuencas altas y medias causan diferentes efectos e impactos de las condiciones naturales de sedimentación, hidrología, hidráulica que se manifiestan en la movilidad de los sistemas fluviales sinuosos o meándricos. El río Sinú, localizado en las llanuras del Caribe colombiano, fue intervenido desde el año 1999 por la operación de Urrá I. De los resultados del comportamiento morfodinámico de la movilidad natural del río Sinú en su escenario natural (1968-1999) y controlado por el sistema Urrá (1999-2019), se puede establecer notables patrones de comportamiento diferencial. En el primer escenario natural el río Sinú se ha registrado una mayor movilidad del su cauce activo sobre el lecho mayor que en el escenario post Urrá, determinado por las diferencias de su canal de movilidad y la superficie del “cauce

permanente” como indicadores morfodinámicos. La definición de estos cauces permanentes en los análisis y mapas de frecuencias no solamente aportan información sobre la dinámica sino sobre su lineamiento y la estabilidad del cauce en un espacio y periodo de tiempo determinado. Se evidencia con el estudio una reducción del 28% de la movilidad del río Sinú luego de la operación de Urrá I. En este trabajo se presentan los resultados de las condiciones geomorfológicas, los comportamientos morfodinámicos, procesos erosivos y de sedimentación natural y activa (sobre el lecho mayor) del río Sinú antes y después de la operación de esta presa de Urra I. **PALABRAS CLAVE:** Río Sinú, Geología, Geomorfología, Morfodinámica.

**ABSTRACT:** The fluvial system of the tropical rivers of flood-plane, the Sinú River study identifies characteristics of geomorphology and macrodynamic in particular because of the high natural mobility. The river causes affected due to anthropic intervention as urbanistic, agriculture or hydroelectric process. The natural fluvial system could be affected assertively or negatively. The reservoirs and dam's operation occupy the location near the borders from the upper and middle basin, achieving different affections and impacts of the natural condition, respect to sedimentation, hydrology, and hydraulic, appear at the mobility of the fluvial system such as sinuous or meandric forms. The Sinú river passes through from the Colombian Caribbean Plain. Urrá I operation since 1999 affecting to the Sinú river cause. The morphodynamical behavior results from the natural mobility of the Sinú river

under natural scenery (1968 to 1999 period), and then Urrá System takes control (1999 to 2019). The comparison between both periods is the feasibility to identify differential behavior patrons. The Sinú River has the active cause running over the principal riverbed as the first natural setting, which signed more mobility. The Urrá scenery regulates the differences of its mobility channel and the “fixed cause” on the surface, which are macrodynamic indicators. The frequencies analysis and maps should define the “fixed causes” that are not alone given information concerning the dynamic, besides its lineally and stability of the cause occupying the space and period time specifically. The study shows evidence that Sinú River its mobility decreased by 28% after the Urrá operation started. This paper shows the geomorphological conditions, the morphodynamical behavior, erosive process, and natural and active sedimentation process (over mayor bedrive) from the Sinú River. Both sceneries: before and after of the Urrá’s dam operation.

**KEYWORDS:** Sinú River, geology, geomorphology, morphodynamic.

## INTRODUCCIÓN

Cuando se abordada la dinámica fluvial en su contexto de estructura morfométrica, evidenciando la posición, forma y elementos de composición de los sistemas fluviales, se debe hacer referencia a uno de los mayores tratados de alto impacto en este tema, en el cual se reúnen los trabajos realizados durante los años anteriores a su aparición, *Fluvial Processes in Geomorphology* por Leopold et al (1964) donde se describe y compila con claridad los análisis del sistema fluvial que hasta el momento se llevaban desde un punto científico y cuantitativo. El progreso de las investigaciones y estudios sobre dinámica fluvial y formas resultantes, se evidencia sobre los sistemas fluviales plasmados por Schumm (1985) en su trabajo de *Patterns of Alluvial Rivers*, donde se describen con claridad las consideraciones para la clasificación y diferenciación de cauces activos, al igual que las premisas de cambio de escala tienen sobre las áreas de interés o de estudio. Para este mismo año el Instituto de Geografía de Bucharest (Rumania), en dirección del profesor Ion Zavoianu publicó: *Mophometry of Drainage Basins* (1985), un largo y preciso trabajo sobre los elementos cuantitativos y medibles sobre los sistemas de drenajes, incluyendo grandes sistemas fluviales. Esta muestra de desarrollos para la descripción y análisis de dinámica fluvial durante los años 80’s y 90’s es precisada y ahondada por Gutiérrez (2009) en su obra: *Geomorfología*, donde discrimina con claridad los aportes propios de cada década desde la Geología y Geografía a la dinámica fluvial.

Los cambios en ciencias de la computación marcaron avances muy importantes en los medios y formas de análisis sobre las Geociencias, permitiendo mayor procesamiento de información y visiones más complejas de los sistemas y procesos de la superficie terrestre (Delgado, 2003), en este contexto la hidrología (Rocha, 2010), la hidráulica y la dinámica fluvial han tenido beneficios y avances en el campo de la hidroinformática, llevando a cabo los análisis y procedimientos en estos campos a desarrollos más amplios

eficaces y rápidos (Olaya, 2004). Los trabajos de dinámica fluvial y la caracterización estructural de los hidrosistemas se han focalizado sobre los cambios temporales de forma, posición y movimientos de flujo y condiciones de sedimento (Freire & Siegle, 2010). Con ello se establecen trabajos que profundizan en el trazado cronológico y de formación de los hidrosistemas fluviales, como el trabajo presentado por Jáuregui et al (2016) sobre la dinámica fluvial en el Cuaternario sobre el Río Ebro, estableciendo los procesos y patrones de formación que dan forma al flujo actual, ayudando de esta manera a construir las tendencias que podrían desarrollar con los cambios futuros sobre el Hidrosistema, calculando impactos y cambios por las diferentes actividades antrópicas presentes. Trabajos de carácter similar con descripciones de los sistemas fluviales son presentados en la provincia de Córdoba Argentina (Degiovanni, Villegas, & Ulla, 2013), el Nor-Este de China (Yu et al, 2016), Oeste de China (Gao, Zongmeng, Pan, Liu, & Liu, 2016). Resaltando el trabajo de Ghinassi M, Lelpi A, Aldinucci M & M Fustic (2016) llamado: "Downstream-migrating fluvial point bars in the rock record" con el cual detallan a gran precisión los cambios morfométricos de barras en grandes hidrosistemas fluviales a través de ejemplos en diferentes partes del mundo (USA, Europa, Canadá, Turquía, Bolivia, Argentina, Asia), reconociendo un proceso activo y dinámico en los sistemas.

Randes avances se han encontrado en la simulación de situaciones teóricas o eventos futuros de cambio climático (Autómatas Celulares), tendencias sobre los sistemas evaluados y patrones (Minería de Datos e inteligencia Artificial) antes no tenidos en cuenta (Coulthard & Van de Wiel, 2006). Inclusive a la creación de sistemas inteligentes a la dinámica propia de los sistemas (Obregón, N & F, Fragala 2002. Villegas et al 2009).

Algunos trabajos se enfocan sobre análisis morfométricos que explican el origen y tendencia de formación de los sistemas de corrientes y su estructura actual, para ello Valla, G; Van der Beek, P & D, Lague (2010) realizan una simulación numérica del estado de formación e incisión del perfil longitudinal del lecho de varias corrientes, con el fin de calibrar y demostrar las tasas de erosión e incisión que tuvieron que sufrir en el tiempo para su desarrollo actual.

Para Colombia se distinguen trabajos detallados en el desarrollo y explicación de los hidrosistemas fluviales. Como los presentados por Vargas, (2008a y 2008b) "Dinámica de Cuerpos de Agua y Zonas Inundables" y "Geología y Geomorfología Aplicada a Ríos" respectivamente, enfocados sobre el Río Magdalena su navegabilidad marítima y fluvial. En la misma línea Ordoñez, J (2010) realiza un importante aporte con su trabajo: "El régimen del flujo y la morfología de los cauces aluviales", describiendo el comportamiento de los grandes afluentes en nuestro territorio a partir del número de Froude. En este mismo contexto Vargas, (2012) presenta un primer trabajo sobre la relación de la Geología, Geomorfología y Dinámica Fluvial aplicada en la Hidráulica de Ríos.

En el contexto del área de aplicación, Florez & Suavita (1997) en su trabajo: "Génesis y manifestación de las inundaciones en Colombia" establecen con claridad la

posición, desarrollo y comportamiento de los principales hidrosistemas fluviales, realizando una aproximación muy clara sobre el Río Sinú en su condición de desbordamiento de valle aluvial, partida fundamental en el caso de aplicación de la presente investigación. En esta misma publicación se esboza los primeros escenarios de amenaza sobre el Río Sinú que años anteriores fueron trabajados por Robertson (1984), y enfocados sobre la Avulsión de esta misma corriente en la formación de su delta (1987).

La dinámica fluvial y susceptibilidad a la erosión del Río Sinú fue abordada por Vargas, G (2005) en su trabajo: “Geología, Geomorfología, Zonificación de la Resistencia de los Materiales a la Erosión Fluvial Dinámica Fluvial y Zonificación de la Susceptibilidad a La erosión, Río Sinú, Sector Presa de Urrá – Tierralta, Córdoba”, para el estudio y diseños de obra de ingeniería para la protección contra la erosión lateral. En este estudio se destaca el alto movimiento lateral y frontal del cauce activo del Río Sinú en el sector de Tierralta.

Cuando se abordan los hidrosistemas a partir de la hidráulica fluvial, se presentan estudios, investigaciones y aportes científicos sobre el flujo de cauce activo y sus propiedades. Para este tema no se puede dejar de lado el trabajo de Chow, V (1994) y su libro sobre “Hidráulica de Canales Abiertos”, traducido al español en Colombia y utilizado en la mayoría de clases en cuanto a esta materia se refiere. De igual forma se rescatan numerosos trabajos y acercamientos sobre este tema en diferentes centros investigativos de nuestro país, rescatando los aportes de Rodríguez, H (2010) en su trabajo de: “Hidráulica Fluvial, Fundamentos y Aplicaciones - Socavación” en los cuales se hace una referencia detallada de los análisis necesarios para entender, estudiar y aplicar los cálculos sobre flujos en río, haciendo aplicaciones específicas sobre los efectos que diferentes obras ejercen sobre el cauce activo. Los estudios en ingeniería para el desarrollo de diferentes actividades de control, mantenimiento, conectividad sobre el cauce activo y el sistema fluvial son las principales características de descripciones en el flujo natural (U.S. Army Corps of Engineers, 1993. Blade, E et al 2009. Ceballos, D. 2011. Valbuena, D 2015. Valbuena, D 2016), con ello también las propiedades del flujo para los análisis de amenaza por desbordamiento en diferentes periodo de retorno (AVR-CAR, 2015. Valbuena, D 2016.). Muchos de estos trabajos en hidráulica fluvial representan documentos técnicos privados en el desarrollo de las obras pertinentes a ser utilizados.

Sin embargo, los sistemas fluviales no solo se encuentran influenciados sobre su estructura morfométrica o propiedades de flujo, como respuesta a la variabilidad climática y diferentes alteraciones que se tengan sobre su sistema. Fuertes implicaciones ejercen las actividades locales a pequeña, mediana y gran escala asociada a los recursos de explotación que sobre sus cauces se puede producir, cambios en su velocidad comportamientos naturales y respuestas a las inundaciones son fuertes problemas que se presentan (Vericat et al, 2014), debido a ello también se evidencian modificaciones importantes sobre los ecosistemas, variabilidad en sus comunidades y poblaciones (Béjar et al, 2014), la influencia de los hidrosistemas sobre su dimensión horizontal (planicies de

inundación) y vertical (Niveles freáticos) con el cambio y desarrollo de ecosistemas riparios son esquemas estudiados y modelados en la actualidad por su importancia en el desarrollo de actividades ecológicas, recuperación y planificación de hidrosistemas. Camporeale, Perucca, Ridolfi, & Gurnell, (2013); (Henshaw, Gurnell, Bertoldi, & Drake, (2013) ; Corenblit et al, (2014). Estudios integrales relacionando la geomorfología y la hidráulica de ríos con inteligencia artificial, resaltan el trabajo en el Sinú de Valbuena, (2017).

### **MARCO GEOGRAFICO Y CLIMÁTICO**

El Rio Sinú nace en el nudo de paramillo a una altura de 3400 m.s.n.m. en la cordillera occidental colombiana, con una longitud aproximada de 350 km (Acosta, 2013). La parte alta del río, anterior a la central hidroeléctrica de URRÁ, se caracteriza por un régimen montañoso y de mayor pendiente, cobijado por el área protegida: Parque Nacional Natural Paramillo (Martínez et al, 2005) el cual permite una cuenca menos intervenida, y un cauce de aguas más claras y con menor contaminación a las encontradas aguas abajo por las actividades económicas de ganadería, agricultura y desechos urbanos (Acosta, 2013). La sección media del río Sinú se establece a partir de la central hidroeléctrica hasta mediados del centro poblado Nueva Colombia (K115+0.000), donde la dinámica horizontal del cauce activo es mayor y de menor profundidad media. Los centros poblados de mayor importancia, de la cuenca media son Pasacaballos, Tierralta Bellavista y Las Palomas y en la cuenca baja Montería como capital del departamento de Córdoba, San Pelayo, Loricá y San Bernardo del Viento. Figura 1.

El rango anual de precipitación se encuentra entre los 52mm y 3195mm. Las zonas de más baja precipitación se localizan sobre la transición entre las cuencas media y baja y en el sector noroccidental de la cuenca baja cerca de su divisoria de aguas. Las condiciones de mayor precipitación se localizan sobre los puntos más altos y montañoso en asociación con la central hidroeléctrica, sector sur oriental de la cuenca media. La precipitación mensual multianual promedio disminuye a medida que se avanza por el cauce activo en dirección a su desembocadura. De esta manera pasada la descarga por la central hidroeléctrica la tendencia monomodal disminuye en aproximadamente la mitad (200mm) con lo observado sobre la cuenca alta.

El rango de temperatura para el área de estudio oscila entre los 21.30 °C y 27.71°C. Donde las menores temperaturas se asocian a la formación montañoso de la cuenca alta he inicio de la cuenca media que hace parte del área de estudio. En la cuenca media se presenta una temperatura de 27.17 °C, con una tendencia hacia su cuenca baja en el sistema cenagoso, llegando a los niveles superiores con 27.29 °C. La condición tropical del territorio permite definir una muy baja variación en temperatura a través del régimen de todo el año no superando cambios entre los 1 y 2 °C.

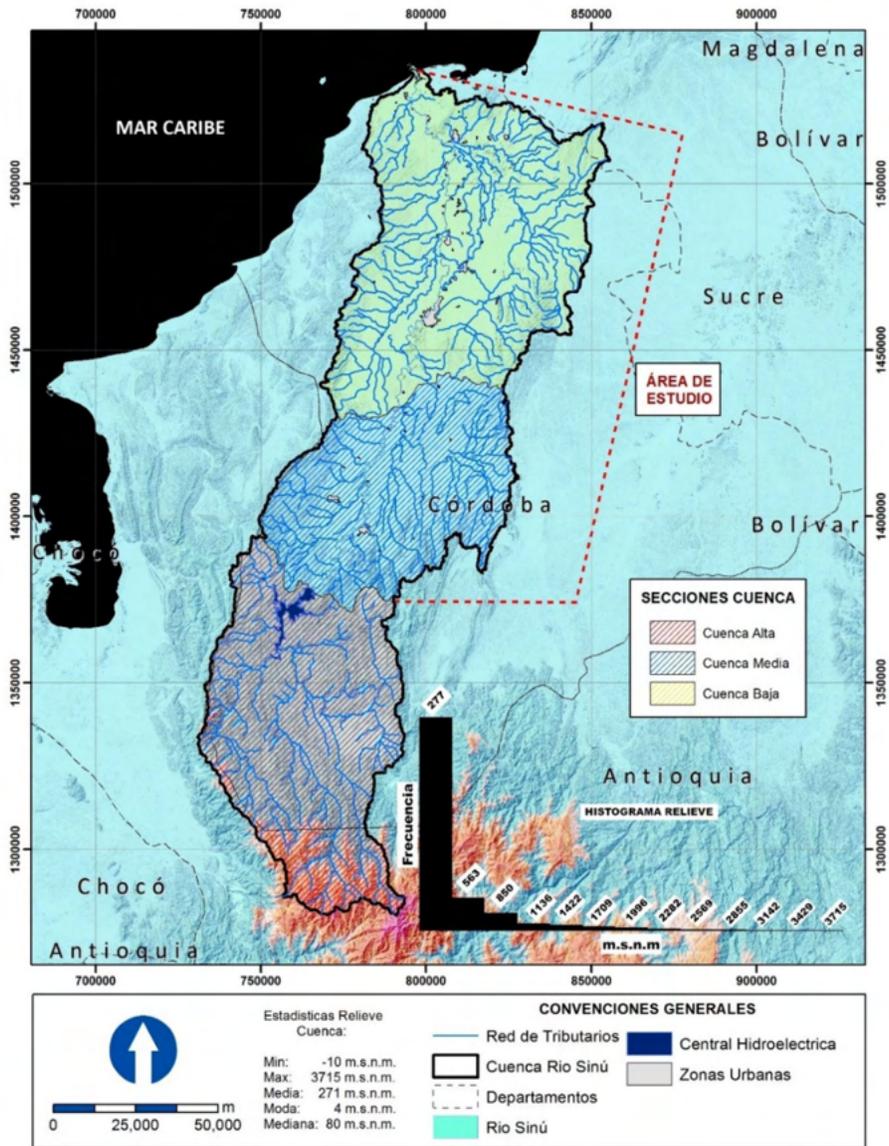


Figura 1. Marco geográfico y subcuencas del río Sinú.

## GEOLOGÍA

Geológicamente, el área de influencia del cauce del río Sinú aguas abajo de la presa de Urrá, está compuesta por materiales de origen sedimentario que se distribuyen en depósitos inconsolidados del Cuaternario en un 80%, rocas del Terciario en 14.42% y el Cretáceo 5.58%. Las unidades de mayor distribución sobre el área de estudio se encuentran influenciadas por los procesos aluviales o fluviales en el Río Sinú.

Las condiciones geológicas que condicionan el cauce del río Sinú, se relacionan principalmente con la presencia de formaciones geológicas rocosas que ofrecen una resistencia muy alta a los procesos de erosión fluvial, a partir de las cuales se pueden identificar tres sectores: el sector Sur. Sitio de Presa – Tierralta (K0+000 a K41+000), está limitado en sus dos costados por rocas sedimentarias de edad Cretácico de la Formación Geológica denominada como Formación Cansona (Kscm) y la Formación San Cayetano de edad Terciario Paleoceno; el Sector central. Montería (K125+700 – K165+000) con la presencia de rocas sedimentarias de las formaciones San Cayetano (Pgsc) de edad Terciario Paleoceno, Ciénaga de Oro (Pgoco) de edad Terciario Oligoceno y Maralú (Pgom) de edad Oligoceno. Estas formaciones en general se componen de areniscas, conglomerados, arcillolitas, sales, limolitas y capas locales de calizas y el sector norte. Lorica (K238+500 – K253+400), controlado litológicamente en su margen derecha por un cerro rocoso compuesto por rocas sedimentarias del cretácico de la Formación Cansona (Ksc), rocas de la formación San Cayetano (Pgsc) y terrazas aluviales del Cuaternario. Las rocas son de tipo chert, limolitas silíceas, arcillolitas, areniscas conglomeráticas, y conglomerados. Geotec, 2003, Vargas 2008 y 2019). Figura 2.

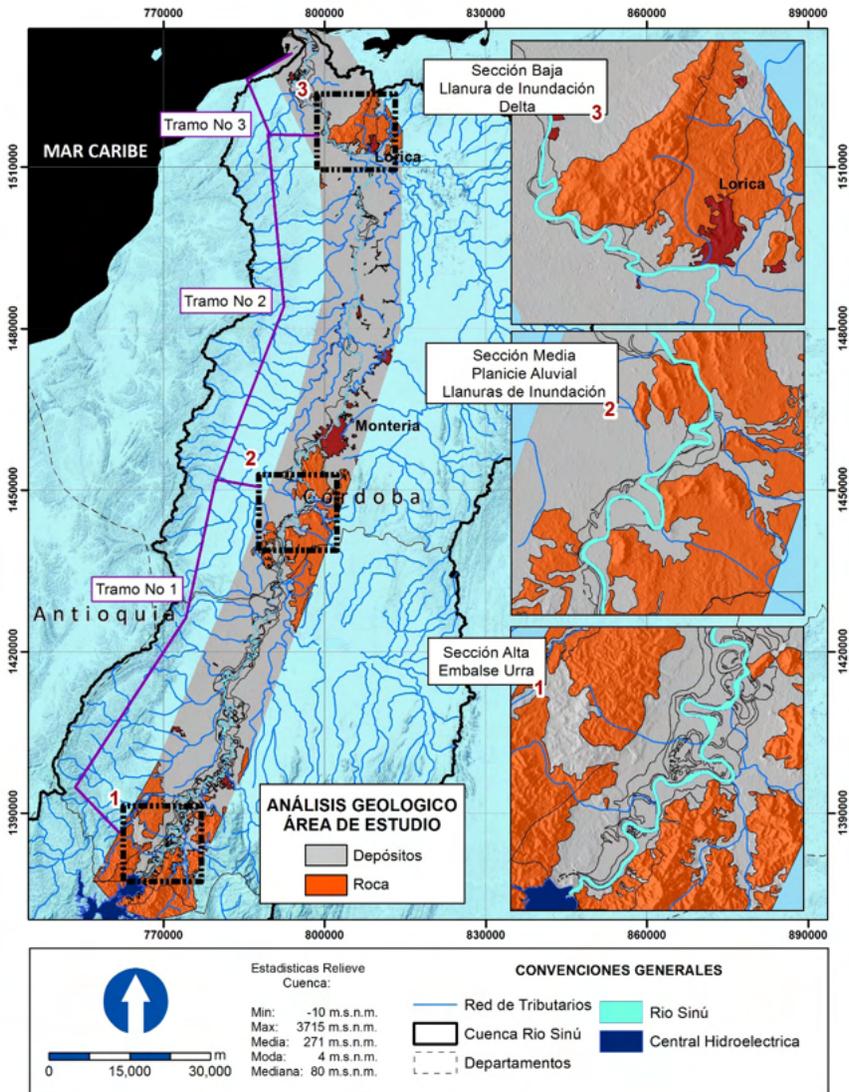


Figura 2. Mapa de unidades de roca y depósitos inconsolidados en la zona de influencia del río Sinú

## GEOMORFOLOGÍA

Las formas naturales de origen fluvial asociadas al río Sinú son: cauce activo, lecho mayor, llanuras de inundación, meandros abandonados y delta fluvial. El Cauce activo del río Sinú presenta formas como rectilíneas, sinuosas, bifurcadas, y trenzadas. Figura 3.

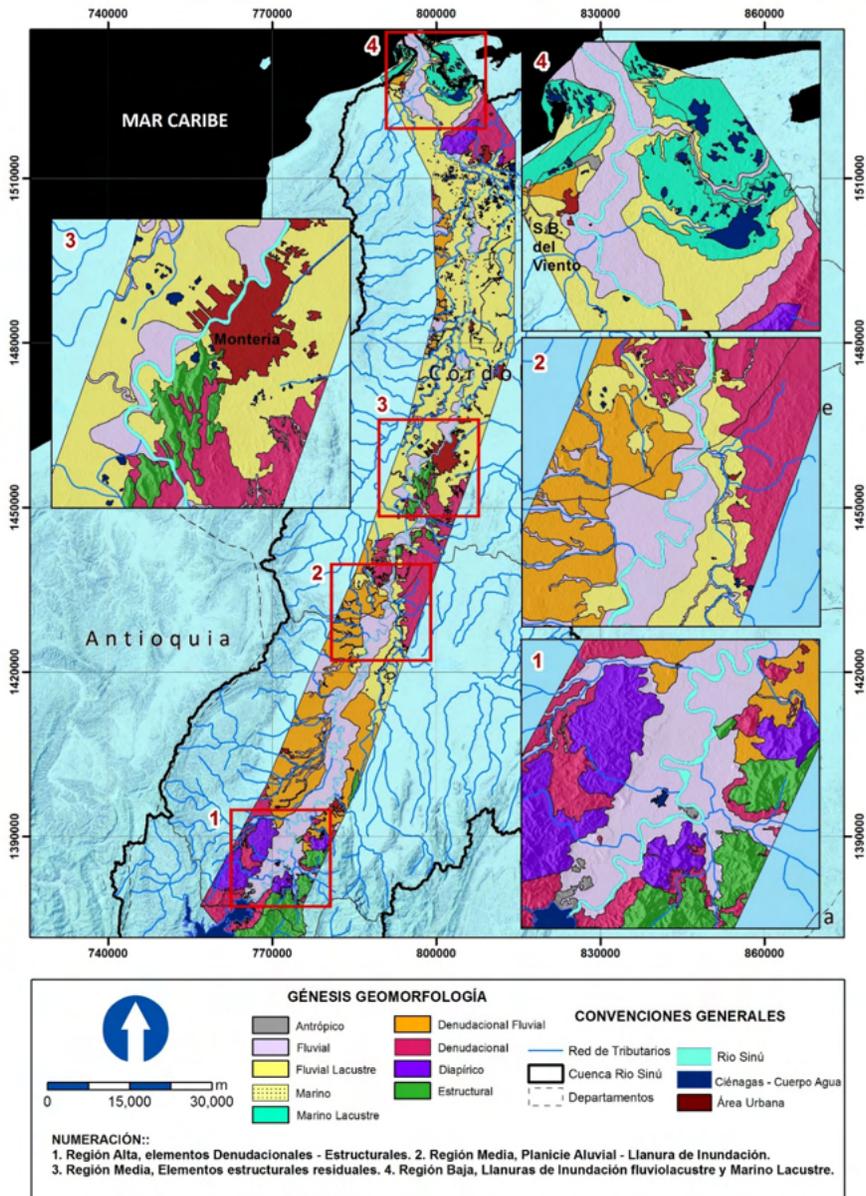


Figura 3. Mapa geomorfológico

La geometría del lecho mayor del río Sinú es variable, presenta cambios de su geometría con un ancho entre unos 150 metros a 5,7 km y cubre una superficie total de 312,1 km<sup>2</sup> sin contemplar el delta. En el interior del lecho mayor se presenta el cauce activo y su dinámica permite distinguir otras geoformas como las vegas de divagación. Para el Sinú se registran actualmente 135 zonas de meandros abandonados con sus formas

características de media lunas que cubren una superficie total de 21,49 km<sup>2</sup>.

Dada su extensión, el río Sinú presenta pocas llanuras de inundación, solo se presentan en su cauce bajo en el sector de Lorica y hace parte del sistema de ciénagas de Lorica. Estas llanuras presentan cubetas convexas y planoconvexas que son ocupadas por cuerpos de agua de las ciénagas y planicies o llanuras potencialmente inundables. En estas zonas se presentan un gran número de caños que sirven como conectores entre las ciénagas, las llanuras y el río.

Estas geofomas se asocian al denominado Delta del río Sinú que comprende en su parte costera barras de arenas o playas, el lóbulo del delta activo, los canales fluviales y las llanuras fluvio marinas o comúnmente denominadas como marismas. Se componen de sedimentos de arenas y limos con niveles arcillosos y fragmentos de conchas calcáreas.

### **MORFODINÁMICA DEL RÍO SINÚ EN EL ESCENARIO NATURAL ANTES DE LA PRESA DE URRÁ (1968-1999) Y DESPUES DE LA OPERACIÓN DE URRÁ (1999-2019)**

En un escenario natural. mediante un análisis multitemporal por diferentes tipos de sensores remotos (fotografías aéreas e imágenes de satélite), del cauce activo del río Sinú se estableció el comportamiento de su movilidad sobre el lecho mayor. Tabla 1.

<b>Año</b>	<b>Área cauce activo (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Longitud del canal (km)</b>	<b>longitud del valle (km)</b>	<b>Índice de Sinuosidad</b>
1999	30,98	276,10	203,51	1,36
1997	35,63	277,60	203,51	1,36
1990	32,66	281,51	203,51	1,38
1986	24,71	284,49	203,51	1,40
1973	35,91	279,75	203,51	1,37
1968	37,48	290,95	203,51	1,43

Tabla 1. Relación estadística de la morfodinámica multitemporal del río Sinú entre 1968 y 1999. Fuente: Vargas, 2019.

De estas estadísticas se puede resaltar las variaciones del espejo o cuerpo de agua del río Sinú en este periodo, presentando superficies valores máximos en el año 1968 con 37,48 km<sup>2</sup> y valores mínimos de 24.71 km<sup>2</sup> en 1986 y una tendencia más al descenso entre 1968 y 1999.

La longitud del canal o cauce activo muestra también una ligera tendencia a la disminución en este periodo pasando de 290,95 km en 1968 a 276.1 km en 1999 lo que indica que el río se ha hecho más rectilíneo hacia el final de este periodo. Los índices de sinuosidad del cauce río Sinú presentan valores entre 1,43 y 1,36 indicando el carácter de sinuosidad media a alta del río y que esta sinuosidad ha ido disminuyendo hacia el final

de este periodo. De un análisis de la presencia de islas y barras de arena del río Sinú se puede destacar la variabilidad de estos elementos morfológicos variando en número entre 1 (1973) y 25 (1990) cuerpos, con superficies que oscilan entre 5,1 km<sup>2</sup> (1968) el cual aparentemente es un valor anómalo y 0,05 km<sup>2</sup> (1973), sin embargo, se considera que en estos cambios también se relacionan con el ciclo hidrológico anual que se analizará posteriormente.

Del análisis de frecuencias del cauce activo en este periodo (1968 – 1999), se puede establecer que la zona de movilidad presenta una superficie total de 75,96 km<sup>2</sup> superando casi el doble del cauce activo de 1968 (39 km<sup>2</sup>) y del 1999 (31 km<sup>2</sup>), lo cual denota una alta movilidad del cauce. Tabla 2.

Valor	Frecuencia (%)	Área (km <sup>2</sup> )
0	0	4,20
1	16	24,84
2	33	13,31
3	50	7,75
4	66	8,53
5	83	8,81
6	100	8,49

Tabla 2. Relación estadística de la frecuencia del río Sinú entre 1968 y 1999.

En el escenario intervenido después de la puesta en marcha de la presa de Urrá (1999-2019), las variaciones del área del espejo de agua del río Sinú en este periodo presentó máximos de 36,01 km<sup>2</sup> en el 2010 y mínimos de 27,40 km<sup>2</sup> y un promedio de 32,48 km<sup>2</sup>. La longitud de la canal asociada a la morfodinámica fluvial y los periodos hidroclimáticos, presentó en este periodo valores de longitud medidos con los centroides de los cauces activos sin contemplar el área del delta con máximos de 282,08 km en 2002 y mínimos de 275,93 en el 2015. La longitud del valle es medida por el centroide del lecho mayor y es de 203,51 km. Respecto a la sinuosidad los cauces se presenta una homogeneidad con pocas variaciones entre 1,39 (2002) y 1,36 en el 2012, para un promedio multianual de 1,37. Del análisis de islas y barras de arenas y gravas el número de cuerpos registrados en la cartografía presenta valores máximos de 323 en el 2015 y mínimos de 14 en 1999.

<b>Año</b>	<b>Área cauce activo (km2)</b>	<b>Longitud del canal (km)</b>	<b>longitud del valle (km)</b>	<b>Índice de Sinuosidad</b>
2019	28,62	280,70	203,51	1,38
2018	34,24	280,22	203,51	1,38
2017	27,40	280,22	203,51	1,38
2015	33,09	276,44	203,51	1,36
2013	34,43	279,10	203,51	1,37
2012	36,47	275,93	203,51	1,36
2010	36,01	279,51	203,51	1,37
2007	31,59	280,47	203,51	1,38
2002	32,00	282,08	203,51	1,39
1999	30,98	276,10	203,51	1,36

Tabla 3. Relación estadística de la morfodinámica multitemporal del río Sinú entre 1999 y 2019. Fuente: elaboración propia.

Del análisis morfodinámico de frecuencias en el periodo 1999 – 2019, se determinó que el cauce activo ha permanecido constante en una superficie de 14,40 km<sup>2</sup>, que representa el 26,71% del canal de movilidad y el 73% de este canal ha mostrado movilidad. Figura 4.

<b>valor</b>	<b>Frecuencia (%)</b>	<b>Área (km2)</b>
0	0	2,25
1	10	6,90
2	20	3,84
3	30	2,62
4	40	2,62
5	50	3,20
6	60	3,32
7	70	3,93
8	80	4,5
9	90	6,32
10	100	14,40

Tabla 4. Registros estadísticos de la frecuencia del cauce activo entre 1999 y 2019. Fuente elaboración propia.

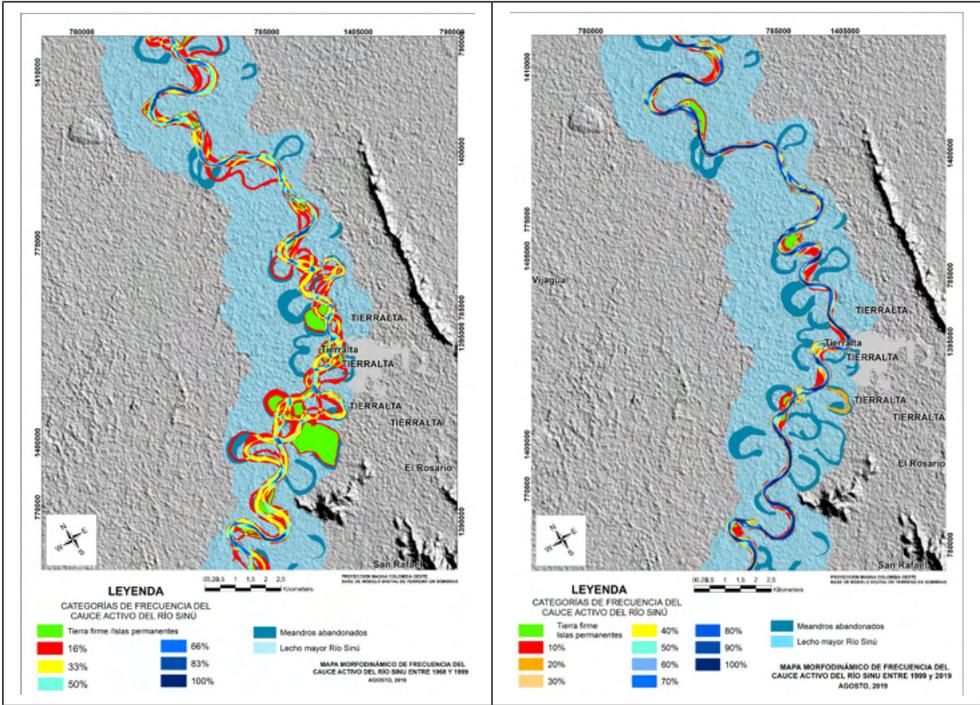


Figura 4. Ejemplo de mapas morfodinámicos de frecuencias de un sector del cauce del río Sinú en los dos escenarios 1968-1999 y 1999-2019. Nótese la alta dinámica del río en el primer escenario.

De los resultados de la movilidad del río Sinú en los dos escenarios antes y después de la Presa de Urrá, se evalúa su comportamiento morfodinámico estableciendo 33 zonas de comportamiento morfodinámico diferencial tomando como abscisado el centroide del lecho mayor que es constante y el canal de movilidad obtenido para los dos escenarios, es evidente la reducción de la movilidad del río Sinú en el escenario posterior a la presa, que se estima una reducción total del canal de movilidad en 20, 37 km que equivale a un 28%.  
 Figura 5.

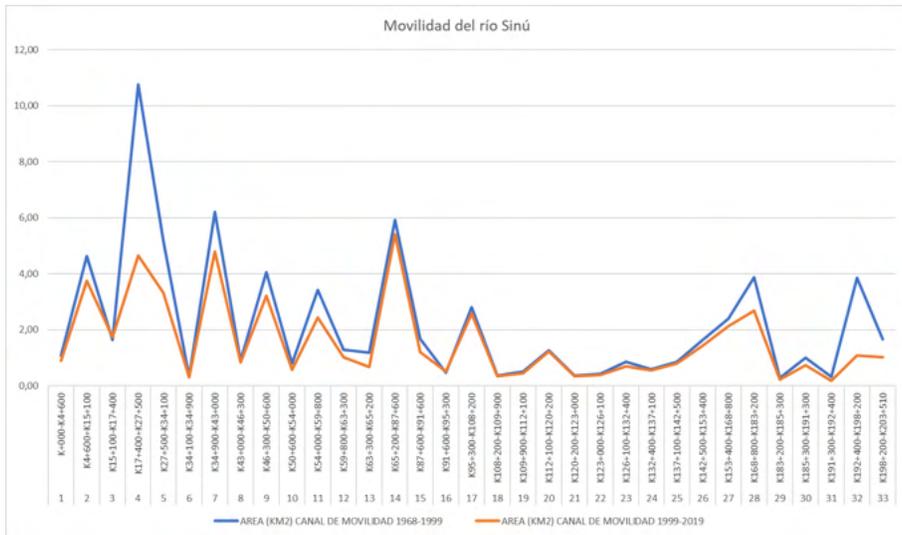


Figura 5. Gráfico del comportamiento morfodinámico del río Sinú en los escenarios antes y después de la Presa de Urrá.

## PROCESOS NATURALES DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN FLUVIAL ASOCIADOS AL RÍO SINÚ

Para el escenario de cambio entre los ríos de 1968 y 1999, el cauce permanente cubre una superficie de 15,78 km<sup>2</sup>, mostrando un alto porcentaje de sedimentación (38%) sobre el de erosión (27%). Esto se explica por qué el cauce de 1968 era de aguas más altas que la de 1999 y la movilidad del río entre estas dos fechas fue alta.

Para el escenario después de la Presa los procesos naturales de erosión y sedimentación fluvial se evaluarán entre los cauces activos de 1999 y 2019. De estos análisis se puede establecer que el cauce permanente entre estas dos fechas permaneció constante en un 49% y un área de 20,87 km<sup>2</sup>, las zonas de erosión cubren 20% con una superficie de 8,35%, las zonas de sedimentación representan el 26% con una superficie de 11,04 km<sup>2</sup>.

Respecto al escenario anterior a la operación de la presa de Urrá, definido entre 1968 y 1999, los procesos de erosión en este periodo post-presa (1999-2019) presentó una reducción del 53%, los de sedimentación una reducción del 49% y el cauce activo aumento un 29%.

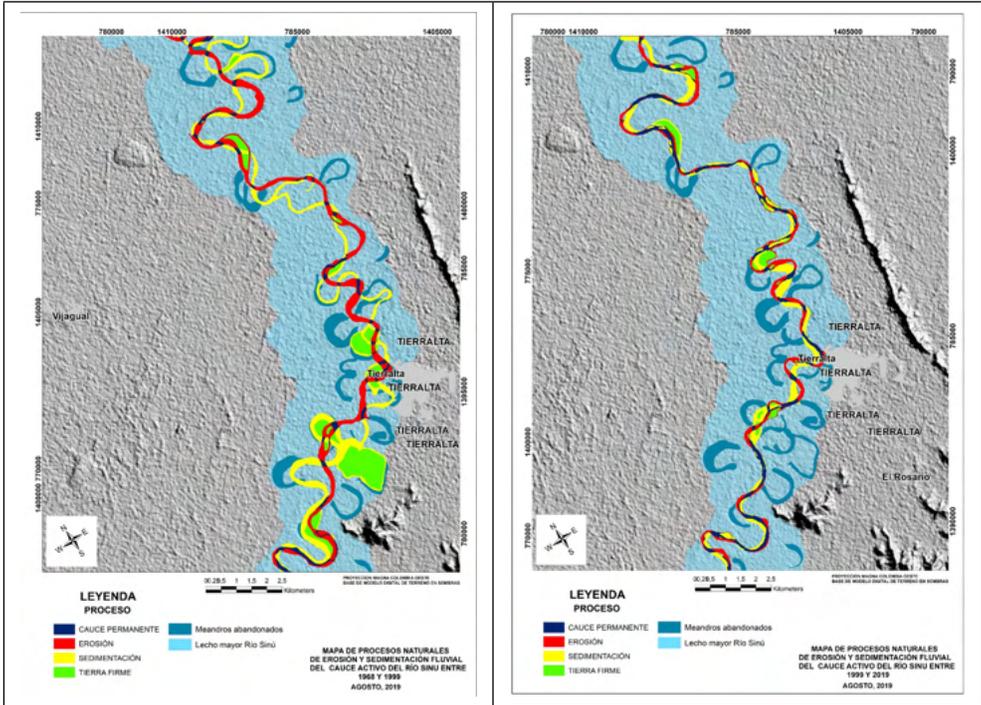


Figura 4. Ejemplo de mapas de procesos de erosión y sedimentación fluvial en el lecho mayor, de un sector del cauce del río Sinú en los dos escenarios 1968-1999 y 1999-2019.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a URRRA S.A. E.S.P. y en particular al Ingeniero Rafael Piedrahita y al Ingeniero Gutemberg José Gonzalez, por los aportes de información y la colaboración recibida para el desarrollo de varios estudios e investigaciones realizadas sobre el comportamiento morfodinámico del río Sinú y permitir su divulgación.

## REFERENCIAS

**Acosta, K.** (2013). Documentos de trabajo sobre economía regional. La economía de las aguas del río Sinú. Cartagena, Colombia: Banco de la Republica. Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER) - Cartagena.

**Arnold Cathalifaud, M., & Osorio, F.** (1998). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. Cinta de Moebio.

**Béjar, B., Gibbins, C., Vericat, D., Batalla, R., Buendía, C., & Lobera, G.** (2014). Impact of gravel mining on benthic invertebrate communities in a highly dynamic gravel-bed river: an integrated methodology to link geomorphic disturbances and ecological status. Impact of gravel mining on benthic invertebrate communities in a highly dynamic gravel-bed river: an integrated methodology to link geomorphic disturbances and ecological status. Cinca, NE SPAIN, España: European Geosciences Union General Assembly.

**Camporeale, C., Perucca, E., Ridolfi, L., & Gurnell, A.** (2013). Modelling the Interactions Between River Morphodynamics and Riparian Vegetation. *Reviews of Geophysics*, 379-414.

**Chow, V. T.** (1994). *Hidraulica de Canales Abiertos*. Bogotá - Colombia: McGraw Hill. Colombia, C. d. (24 de Abril de 2012). Ley 1523 de 2012. Ley 1523 de 2012. Bogotá, DC, Colombia: Republica de Colombia.

**Construcción & Consultoría Especializada I.t.d.a, & URRÁ.** (2014). Informe Final de Monitoreo de Procesos Erosivos del Río Sinú. Montería - Córdoba: Empresa URRÁ S.A. E.S.P.

**Consultoría B & G - URRÁ.** (2016). Planes de Monitoreo Relacionados con los Componentes Hidrológicos e Hidráulicos contemplados en la Licencia Ambiental para la Central Hidroeléctrica URRÁ I. Montería - Córdoba: URRÁ S.A E.S.P.

**Corenblit, D., Steiger, J., González, E., Gurnell, A., Charrier, G., Darrozes, J., . . . Voldoire, O.** (2014). The biogeomorphological life cycle of poplars during the fluvial biogeomorphological succession: a special focus on *Populus nigra* L. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39, 546-563.

**Coulthard, T., & Van de Wiel, M.** (2006). A cellular model of river meandering. (E. S. Process, Ed.) *Earth Surfaces Processes and Landforms*, 31, 123-132.

**CRE.** (1990). Control de Inundaciones, cuenca del Sinú. Montería - Córdoba: Comité Regional de Emergencias del Departamento de Córdoba.

**CRE.** (1991). Plan general para la prevención y atención de desastres en el Departamento de Córdoba. Montería - Córdoba: Comité Regional de Emergencias del Departamento de Córdoba.

**CVS.** (1983). Plan maestro de desarrollo integral de la cuenca hidrográfica del Río Sinú. Montería - Córdoba: Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y el San Jorge.

**Degiovanni, S., Villegas, M., & Ulla, J.** (2013). Análisis de la carga de fondo y dinámica de torte en el Río cuarto, provincia de Córdoba, como base para una minería de aridos sustentable. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol 70. No 2.

**Freire, G., & Siegle, E.** (2010). Migração lateral da desembocadura do Rio Itapocú, SC, Brasil: evolução morfológica e condicionantes físicas. *Revista Brasileira de Geofísica*, Vol 28, No 4.

**Gao, H., Zongmeng, L., Pan, B., Liu, F., & Liu, X.** (2016). Fluvial responses to late Quaternary climate change in the Shiyang River drainage system, western China. *Geomorphology*, 82-94.

**GEOTEC** (2003). Geología de los Cinturones Sinú San Jacinto. Escala: 1:100.000. Memoria Explicativa. Bogotá D.C. Colombia: Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero Ambiental y Nuclear - Ingeominas.

**Ghinassi, M., Lelpi, A., Aldinucci, M., & Fustic, M.** (2016). Downstream-migrating fluvial point bars in the rock record. *Sedimentary Geology* 334, 66-96.

**Gutiérrez, M.** (2008). *Geomorfología*. Madrid - España: Pearson, Prentice Hall.

**Henshaw, A., Gurnell, A., Bertoldi, W., & Drake, N.** (2013). An assessment of the degree to which Landsat TM data can support the assessment of fluvial dynamics, as revealed by changes in vegetation extent and channel position, along a large river. *Geomorphology* 202, 74-85.

**Jáuregui, Á., González, M., Mauz, B., & Lang, A.** (2016). Dynamics of Mediterranean late Quaternary fluvial activity: An example from the River Ebro (North Iberian Peninsula). *Geomorphology* 268, 110-122.

**Leopold, L. B., Wolman, M. G., & Miller, J. P.** (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*. New York - USA: Dover Publications INC.

**Martínez, A. J., Arboleda, G., Montalvo, E., Puche, M., Naranjo, L., Rodríguez, H., & Giraldo, A.** (2005). Plan de manejo parque nacional natural Paramillo 2004 - 2011. Tierralta - Córdoba: Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia. Dirección Territorial Noroccidental.

**Newson, M.** (2002). Geomorphological concepts and tools for sustainable river ecosystem management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. Wiley InterScience. 12, 365-379.

**Obregón Neira, N., & Fragala, F.** (2002). Sistemas Inteligentes, ingeniería e informática. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 71-79.

**Olaya, V.** (2004). *Hidrología Computacional y Modelos Digitales de Terreno, Teoría, práctica y filosofía de una nueva forma de análisis hidrológico*. Madrid - España: Creative Commons Attribution Share-alike.

**Robertson, K.** (1984). *Geomorfología del Valle del Sinú. Dinámica Fluvial y Costera*. Mapas 1:100.000. Bogotá - Colombia: CIAF/CVS.

**Robertson, K.** (1987). Avulsión, cambio de curso y delta del Río Sinú. Bogotá: Memorias II simposio latinoamericano de sensores remotos.

**Rocha, P.** (2010). Indicadores de alteração hidrológica no Alto Rio Paraná: intervenções humanas e implicações humanas na dinâmica do ambiente fluvial. *Sociedade & Natureza*, Vol 22, No 1.

**Rodríguez Díaz, H. A.** (2010). *Hidráulica Fluvial, Fundamentos y Aplicaciones*. Socavación. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.

**Rodríguez, J.** (2010). *Fundamentos de minería de datos*. Bogotá - Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

**Rodríguez, M.** (2009). Lógica difusa como herramienta para interpretar datos de producción limpia en el sector agrícola. *IDESIA*, Vol 27, 101-105.

**Schumm, S.** (1977). *The Fluvial System*. New York: Wiley.

**Valbuena Gaviria, D. L.** (2015). Análisis de Hidráulica Fluvial (Modelo 2D) para el Río Guejar en el sector de Avulsión de su cauce, cerca a la localización del Pozo de perforación exploratoria Dumbo. Bogotá. D.C.: EIA TEC S.A.S.

**Valla, P. G., Van de Beek, P. A., & Lague, D.** (2010). Fluvial incision into bedrock: Insights from morphometric analysis and numerical modeling of gorges incising glacial hanging valleys (Western Alps, France). *Journal of Geophysical Research* Vol 115, 1-25.

**Vargas, G.** (2019). Análisis de la dinámica geomorfológica de los cauces mayor y menor del río Sinú antes y después de entrada en operación de la central hidroeléctrica Urrá I. Informe técnico.

**Vargas, G.** (2005). Geología, Geomorfología, Zonificación de Resistencia de Materiales a la Erosión Fluvial, Dinámica Fluvial y Zonificación de la Susceptibilidad a la Erosión, Río Sinú, sector presa de Urrá -Tierralta, Córdoba. Barranquilla: CVS, Universidad del Norte - IDEHA.

**Vargas, G.** (2008). Dinámica de Cuerpos de Agua y Zonas Inundables. En M. A. Ortega, Río Magdalena Navegación Marítima y Fluvial (1986 - 2008) (págs. 215 - 246). Barranquilla - Colombia: Ediciones Uninorte.

**Vargas, G.** (2008). Geología y Geomorfología Aplicada a Ríos. En M. A. Ortega, Río Magdalena Navegación Marítima y Fluvial (1986-2008) (págs. 183 - 214). Barranquilla - Colombia: Ediciones Uninorte.

**Vargas, G.** (2012). Geología, Geomorfología y Dinámica Fluvial aplicada a Hidráulica de Ríos. XX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, -.

**Vericat, D., Muñoz-Narciso, E., Béjar, M., Tena, A., Brasington, J., Gibbins, C., & Batalla, R.** (2014). From the air to digital landscapes: generating reach-scale topographic models from aerial photography in gravel-bed rivers. From the air to digital landscapes: generating reach-scale topographic models from aerial photography in gravel-bed rivers. Cinca, NE España, España: European Geosciences Union General Assembly.

**Valbuena, D.,** (2017). Geomorfología y condiciones hidráulicas del sistema fluvial del río Sinú. integración multiescalar 1945 – 1999 – 2016. Tesis de grado en geografía. Universidad Nacional de Colombia.

**Villegas González, P. A., Obregón Neira, N., Lara Borrero, J. A., Méndez Fajardo, S., & Vargas Luna, A.** (2009). Herramienta informática como apoyo en la toma de decisiones en proyectos de agua y saneamiento en comunidades indígenas. *Avances en Recursos Hidráulicos*, Numero 19. 39-55.

**Zavoianu, I.** (1985). *Morphometry of Drainage Basins*. Bucharest - Rumania: ELSEVIER.

## MEJORA DE PROCESO APLICANDO HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA

*Data de aceite: 03/10/2022*

### **Esteban Rubio Ochoa**

Instituto Tecnológico de Chihuahua/  
Departamento de Posgrado e Investigación  
Chihuahua, México  
<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-2422-5234>

### **Laura Isela Padilla Iracheta**

Instituto Tecnológico de Chihuahua/  
Departamento de Metal-Mecánica  
Chihuahua, México  
<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-9410-1691>

### **Jaime Eduardo Trejo Aguirre**

Instituto Tecnológico de Chihuahua/  
Departamento de Metal-Mecánica  
Chihuahua, México  
<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0003-3989-8025>

### **Irving Torres Quezada**

Instituto Tecnológico de Chihuahua/  
Departamento de Metal-Mecánica  
Chihuahua, México

### **Jesús Eduardo Ramírez Delgado**

Instituto Tecnológico de Chihuahua/  
Departamento de Metal-Mecánica  
Chihuahua, México

**RESUMEN:** La reducción de costos es una prioridad en las empresas, las cuales desean obtener mayores utilidades. En este trabajo se realizó un estudio en un proceso de fundición el

cual tenía un sistema de enfriamiento para sus piezas por medio de aire, se procedió a mejorar este proceso cambiando el sistema por otro más eficiente empleando técnicas de enfriamiento basadas en la transferencia de calor para así agilizar la producción y obtener los objetivos tales como: reducción del tiempo de producción, reducción de costos, mejorar la calidad y aplicar las herramientas de manufactura esbelta; todo esto da como resultado un mayor margen de utilidad para la empresa.

**PALABRAS CLAVE:** Costos, fundición, mejora, eficiencia, reducción.

### PROCESS IMPROVEMENT APPLYING LEAN MANUFACTURING TOOLS

**ABSTRACT :** Cost reduction is a priority for businesses in order to attain higher margin. In this work, a study was conducted in a smelting process which had a cooling system for the parts by air, it was proceeded to improve this process, changing the system to a more efficient one using cooling techniques based on heat transfer to streamline production and obtain the objectives such as: reducing production time, cost reduction, improve quality and the implementation of manufacturing techniques; all these results in a better margin for the company.

**KEYWORDS:** Costs, foundry, improvement, efficiency, reduction.

## 1 | INTRODUCCIÓN

La reducción los gastos en las empresas, la reducción de presupuestos y la idea de generar mayor utilidad, ha llevado a la industria

a mejorar sus procesos de producción al máximo, esto quiere decir que se desea producir lo más posible con el menor costo y el menor tiempo de fabricación para generar mayores utilidades a la empresa. Todo esto lleva a aplicar las técnicas de calidad para alcanzar dichos objetivos tales como 5's, KANBAN, OEE, MRP, entre otras muchas herramientas que hoy en día ya se aplican en la mayoría de las empresas de manufactura intensiva.

Este trabajo demuestra como mediante el uso de estas técnicas se mejora un proceso que tiene una cierta eficiencia y que con la aplicación de los estándares de calidad, diseño e ingeniería se logra mejorar gracias al cambio del sistema de enfriamiento.

## **2 | DESARROLLO**

### **2.1 Planteamiento del problema**

La necesidad de implementar mejoras continuas en los procesos, lleva a buscar áreas de oportunidad. Durante un estudio en nave 4 se descubre la oportunidad de mejorar el proceso de enfriamiento de los productos de fundición. Ya que el problema detectado es que las piezas recién fundidas puestas a enfriar a la intemperie con ayuda de ventiladores, tardan un cierto tiempo para poder trabajar el siguiente proceso en ella. Es por esto que en el intento de la reducción del tiempo de enfriamiento y por consecuente la reducción de costos lleva a la necesidad de buscar un proceso más eficiente de enfriamiento, basado en técnicas de transferencia de calor más rápidas que permita recortar el tiempo producción.

Esto llevó a pensar en un sistema ergonómico y eficaz, y se tomó como decisión implementar sistemas de enfriamiento mediante agua.

Los sistemas de enfriamiento por agua dan un método de trabajo estandarizado, eficaz y más seguro para no tener variaciones en las actividades de cada operador.

### **2.2 Revisión de conceptos**

En cuanto al propósito de este trabajo; será de apoyo para cualquier analista, revisar los siguientes conceptos.

#### *2.2.1 Manufactura esbelta*

Manufactura esbelta o ágil (Lean Manufacturing), también llamado Manufactura de clase mundial o Sistema de Producción Toyota (Ohno, 1988), es un sistema que se basa principalmente en la eliminación de desperdicios o exesos, entendiendo a estos como todas aquellas actividades que no agragan valor pero sí costo o trabajo.

#### *2.2.2 Planeación agregada*

También llamada programación agregada, busca determinar los volúmenes y los tiempos de producción para un futuro intermedio. Los analistas buscan determinar la mejor forma de satisfacer la demanda ajustando los índices de producción, los niveles

de inventario, y otras variables controlables. En general, el objetivo de la planeación agregada es minimizar los costos para el periodo de planeación como reducir los niveles de inventarios.

Las decisiones de programación estudian el problema de ajustar la producción a las fluctuaciones en la demanda. La planeación agregada forma parte de un sistema más amplio, el programa maestro de producción que proporciona información a los sistemas de planeación de requerimientos de materiales (MRP, *material requirements planning*) (Heizer & Render, 2004).

### 2.2.3 *Justo a tiempo*

En algunos sistemas de producción, los inventarios existen “por si acaso” algo sale mal. Es decir, se usan sólo en caso de que ocurra alguna variación en el plan de producción. En tal caso, el inventario “adicional” puede cubrir las variaciones o los problemas. Las buenas tácticas de inventarios requieren “justo a tiempo” y no “por si acaso”. El inventario justo a tiempo es el inventario mínimo necesario para que un sistema funcione perfectamente. Con un inventario justo a tiempo, el volumen exacto de bienes llega en el momento en que se necesita. Se puede decir que el inventario justo a tiempo es parte de la producción esbelta (Ohno, 1988).

### 2.2.4 *Las 5'S*

- Organización. - Significa retirar de la estación de trabajo todos los elementos que no son necesarios para las operaciones de producción o de oficina.
- Orden. - El orden puede definirse como la Organización de los elementos necesarios de modo que sean de uso fácil y etiquetarlos para que se encuentren y retiren fácilmente.
- Limpieza. - La limpieza significa lavar los suelos, limpiar la maquinaria, y en general, asegurar que todo permanece limpio en la fábrica.
- Limpieza. - Estandarizada. - Difiere de la Organización, Orden y Limpieza. Y es el estado que existe cuando mantienen los tres primeros pilares.
- Disciplina. - Significa convertir en habito el mantenimiento apropiado de los procedimientos correctos. (5S PARA TODOS 5pilares de la fábrica visual, 1996)

### 2.2.5 *Valor agregado*

Entendemos como desperdicio toda aquella acción que no aumenta valor al producto, entonces el valor agregado son todas aquellas acciones que van logrando acercar al producto con todas aquellas especificaciones del cliente. En otras palabras, Villaseñor (2007: 56-6) “El valor agregado es el tiempo de los elementos de trabajo que actualmente

transforman los productos en lo que desea el cliente y está dispuesto a pagar”.

### 2.2.6 Los 8 desperdicios

A continuación, se mencionan los desperdicios en sus 8 grandes clasificaciones según el principio de manufactura esbelta:

T- Transporte. - Se refiere al transporte de productos y herramientas dentro de las instalaciones de la empresa, ya que con esto es probable que se corra el riesgo de dañar los antes mencionados.

I- Sobre inventario. - El sobre inventario de piezas son todo aquel almacén de producto en proceso o terminado que exceden la demanda del cliente, además los sobre inventarios conllevan defectos o problemas ocultos como tiempos largos de entrega de los proveedores, material obsoleto o dañado, etc.

M- Movimiento. - Este desperdicio se refiere a los movimientos innecesarios por parte del personal de un punto a otro dentro de la empresa, tales como caminar, voltear, buscar, etc. Todos estos movimientos no representan un valor más para el proceso, por el contrario, supone una pérdida e ineficiencia en el proceso.

W- Espera. - Es la pérdida de tiempo de un trabajador o una máquina por esperar a que otro trabajador u otra máquina terminen con el proceso que le antecede a éste. En suma, se refiere a que la espera puede ser el tiempo que se pierde cuando un trabajador espera a otro trabajador que termine su proceso o que la máquina termine de realizar su operación.

O- Sobreproducción. - La sobreproducción es producir más de lo que el cliente demanda, más rápido de lo que se requiere o antes de lo requerido, esto quiere decir que el producto se debe almacenar generando costos para su almacenamiento.

O- Sobreproceso. - Significa realizar actividades que no requieren hacerse o que suponen un proceso incorrecto para el producto. Esto quiere decir que se agrega una actividad extra al proceso que no es necesario para el cliente, también se refiere a que se realiza una actividad que posteriormente será imperceptible pues otro proceso mejorará el producto o eliminará ese trabajo.

D- Defectos. - Al hablar de un defecto se entiende que el producto pueda dirigirse hacia 2 caminos; uno de ellos es llevar el producto hacia el SCRAP (*desperdicio*) logrando con esto volver a fabricar el producto para cubrir los requerimientos del cliente.

S- Subutilización de habilidades/conocimiento. - No siempre se aprovecha el conocimiento y/o la experiencia con la que cuenta el personal de una empresa y si se utiliza solo es en una parte y no en su 100%. Esto causa que los procesos tarden más tiempo en llegar a su madurez, por otra parte, desde el punto de vista humano, el desperdicio de talento o la falta de comunicación para expresarlo genera desmotivación del personal (Wallace J. Hopp, 2008).

### 2.2.7 Los 4 principios de la producción esbelta

Existen 4 principios de la producción esbelta que se deben conocer, cada uno de estos principios es importante para que una organización funcione adecuadamente bajo el principio JIT (*Justo a Tiempo*).

Principio de flujo. - Este principio busca la reducción del tiempo de paso (el cual es el tiempo en donde dicho producto tarda en pasar por todo el proceso, desde la materia prima hasta el producto terminado), a través de la combinación de procesos y la reducción de lotes.

Principio del TAKT. - Como lo describe el escritor Alberto Villaseñor Contreras en su libro “Manual de Lean Manufacturing, guía básica”; de la información que se tenga de la demanda del cliente, se debe determinar el takt time o el ritmo de producción que marca el cliente. “Takt” es una palabra en alemán que significa “ritmo”. Entonces, esto quiere decir que el takt time marca el ritmo de lo que el cliente está demandando, al cual la compañía requiere producir su producto con el fin de satisfacerlo.

Principio de jalar. - Jalar se refiere al método de producción en el cual no se produce una sola pieza hasta que el cliente así lo ha solicitado, con esto se evita la sobreproducción y al mismo tiempo no se tiene una subproducción pues se cuenta con la información correcta del cliente.

Cero defectos. - El principio de cero defectos es orientado hacia tener una calidad al 100% tanto en los productos, procesos, áreas de trabajo y ambiente laboral.

Para llegar obtener un principio de cero defectos en los productos, se utilizan algunas herramientas como lo son; la prevención de fallas, reconocimiento de fallas, retroalimentación de fallas y corrección de fallas.

### 2.2.8 Kanban

Son tarjetas que se adhieren a los contenedores con cantidad de piezas estándar. Cuando un contenedor se ha llenado, la información de la tarjeta se captura y se almacena en el sistema de manejo de información interna de la empresa. (Ohno, 1988).

### 2.2.9 TPM

Un poderoso sistema para prevenir las fallas en los equipos es el TPM o Mantenimiento Total Productivo, el cual se basa en mantener los equipos disponibles para su producción y que involucra a todo el personal de la empresa desde la gerencia hasta los operadores de dicho equipo.

El TPM es programado dependiendo de la demanda de producción, esta actividad consiste en brindarle mantenimiento a la máquina o equipo con la que se trabaje sin que exista una necesidad aparente de corregir alguna anomalía. El mantenimiento se realiza justamente para prevenir la descompostura de la máquina causada por la falla de una

pieza o refacción del equipo a causa del exceso de trabajo o por los periodos tan largos de producción. (Press, 1996)

### *2.2.10 OEE*

Overall Equipment Effectiveness por sus siglas en inglés o en su traducción al español “efectividad total de los equipos”, es una herramienta indispensable de las empresas, pues es mediante ésta con la que las empresas pueden conocer la capacidad con la que están usando su equipo para producción, además la empresa tiene capacidad de hacer negocios con esta herramienta, pues de esta manera conoce la capacidad que tiene y la producción que puede realizar cuando el cliente le demanda cierta producción.

El OEE se compone básicamente de 3 factores que evalúan diferentes zonas y en conjunto éstas 3 son las que conforman el OEE; las cuales son disponibilidad, rendimiento y calidad.

### *2.2.11 SMED*

Single Minute Exchange of Die, lo cual significa cambiar las herramientas en un solo dígito de minuto, así que esto debe de demorar menos de 10 minutos.

Este cambio rápido de herramientas se utiliza para disminuir el tiempo muerto y además para que el equipo sea flexible en cuanto al cambio de producto se refiere, pues con esto se evita tener una inversión alta causada por la compra de equipo o máquinas diferentes para cada producto y por ende se reduce el espacio a utilizar en la planta y la transportación de equipo. (Shingo, 1983)

### *2.2.12 Transferencia de calor por convección*

Es bien conocido que una placa de metal caliente se enfriará más rápidamente cuando se coloca delante de un ventilador que cuando se expone al aire en calma. Se dice que el calor se ha cedido hacia fuera de la placa y al proceso se le llama transferencia de calor por convección. El término convección proporciona al lector una noción intuitiva en lo referente al proceso de transferencia de calor; sin embargo, esta noción intuitiva debe ampliarse para permitir que se llegue a un tratamiento analítico adecuado del problema. Por ejemplo, se sabe que la velocidad a la que el aire pasa sobre la placa influye evidentemente en el flujo de calor transferido. Pero ¿influye el enfriamiento de forma lineal, es decir, si se duplica la velocidad, se duplicará el flujo de calor? Cabría sospechar que el flujo de calor puede ser diferente si la placa se enfría con agua en vez de con aire, pero, de nuevo ¿cuánto sería esa diferencia? Por ahora, se esboza el mecanismo físico de la transferencia de calor por convección y se muestra su relación con el proceso de conducción.

Conductividades térmicas aparentes de un material aislante típico para temperaturas criogénicas: (a) aislantes multicapa; (b) polvos opacos; (c) fibras de vidrio; (d) polvos; (e) espumas, polvos y fibras según la Referencia 1 [1 Btu in/h·ft<sup>2</sup>·°F = 144 mW/m·°C].

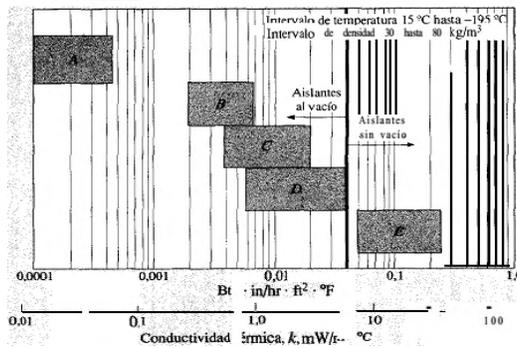


Figura 1.1

Considérese la placa caliente mostrada en la Figura 1.1. La temperatura de la placa es  $T_p$  y la temperatura del fluido es  $T_\infty$ . La velocidad de la corriente aparece como se muestra, reduciéndose a cero en la placa como resultado de la viscosidad. Como la velocidad de la capa de fluido en la pared es nula, en este punto el calor sólo puede ser transferido por conducción. Así, la transferencia de calor podría calcularse haciendo uso de la ecuación de la conductividad térmica del fluido y el gradiente de temperaturas del fluido en la pared. Entonces, ¿por qué si el calor fluye por conducción en esta capa se habla de transferencia de calor por convección y se necesita tener en consideración la velocidad del fluido? La respuesta es que el gradiente de temperaturas depende de la rapidez a la que el fluido se lleva el calor; una velocidad alta produce un gradiente de temperaturas grande, etc.

Así pues, el gradiente de temperaturas en la pared depende del campo de velocidades, y en el análisis posterior se desarrollarán expresiones que relacionan las dos magnitudes. Sin embargo, se debe recordar que el mecanismo físico de la transferencia de calor en la pared es un proceso de conducción. Para expresar el efecto global de la convección, se utiliza la ley de Newton del enfriamiento:

$$q = hA(T_p - T_\infty) \dots\dots (Ec. 1.1)$$

Aquí el flujo de calor transferido se relaciona con la diferencia global de temperaturas entre la pared y el fluido, y el área  $A$  de la superficie. La magnitud  $h$  se denomina coeficiente de transferencia de calor por convección, y la Ec. (1.1) es la ecuación que lo define. Para algunos sistemas puede hacerse un cálculo analítico de  $h$ .

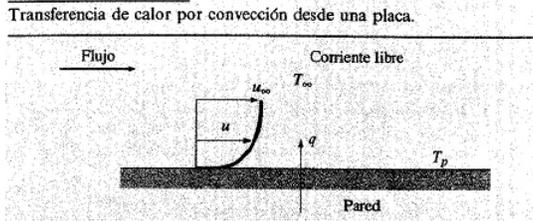


Figura 1.2

En situaciones complejas debe determinarse experimentalmente. Algunas veces, al coeficiente de transferencia de calor se le denomina conductancia de película, a causa de su relación con el proceso de conducción en una capa de fluido delgada y estacionaria en la superficie de la pared. De la ecuación (1.1) se deduce que las unidades de  $h$  son vatios por metro cuadrado y por grado Celsius, cuando el flujo de calor se expresa en vatios. (Holman, 1998).

### 3 | RESULTDOS

#### OEE vs EFICIENCIA

El funcionamiento normal del proceso de producción de la empresa fundidora de aluminio se muestra en la figura 1.3, el cual nos indica de una manera sencilla el flujo de proceso que lleva cada una de las piezas fundidas y el cual nos dice que después de fundida la pieza pasa al siguiente proceso que es el enfriamiento para finalmente darle el acabado final.



Figura 1.3 Flujo Operativo

Como ya se ha explicado anteriormente, el OEE se evalúa con 3 factores; disponibilidad, rendimiento y calidad. Mientras tanto la eficiencia es la razón de la cantidad de horas de pieza buena producidas por día entre la cantidad de horas de máquina requerida, lo cual se explica a continuación:

$OEE =$ $(Disponibilidad)(Rendimiento)(Calidad)$	$Eficiencia =$ $\frac{Horas\ de\ pieza\ buena}{Horas\ requeridas} \times 100\%$
---	--

Horas requeridas: son las horas disponibles, es decir, el total de horas programadas en el rol de turnos, menos la cantidad de horas programadas por paro de máquina por.; Una máquina cuenta con 24 horas diarias disponibles, sin embargo, el KANBAN muestra que se tiene una producción por encima de lo requerido por el cliente, así que se programa un paro de máquina de 8 horas, es decir, la máquina estará requerida 16 horas.

Horas de pieza buena: es la cantidad de horas que se fabricaron piezas con una calidad del 100%, es decir, con cero defectos divididas entre el estándar del producto; La máquina 'X' produce diariamente 500 piezas del producto 'Y' pero de las 500 piezas, 50 piezas presentan defectos, estas 50 piezas se deben restar pues representan SCRAP y representan un desperdicio, pues se deben volver a fabricar 50 piezas para satisfacer la demanda, por lo tanto, se tienen 450 piezas buenas.

Dicho producto posee un estándar o una capacidad de producción de 100 piezas/hr, al hacer la división de 450 piezas buenas entre el estándar de 100 piezas/hr, resultan 4.5 horas de pieza buena.

Horas pieza SCRAP: es la cantidad de horas que representa la cantidad de piezas de SCRAP resultantes de la producción de un producto en base en esto se dividen las 50 piezas de SCRAP entre el estándar del mismo producto (100 piezas/hr), es decir que se tiene un total de 0.5 Hrs. SCRAP.

Entonces al tener en una máquina, un turno de producción de 24 horas (horas disponibles), 16.5 horas de pieza buena, con un total de 22 horas requeridas y 0.5 hrs SCRAP, la manera de calcular la eficiencia sería la siguiente:

$$Eficiencia = \frac{16.5 \text{ Hrs pieza buena}}{22 \text{ Hrs requeridas}} \times 100\% = 75\%$$

Mientras que el cálculo para obtener el OEE sería de la siguiente manera:

Disponibilidad: Es la cantidad de horas según lo programado en el rol de turnos, menos todos los tiempos en que estuvo detenida la máquina, entre las horas disponibles, se tuvo un tiempo muerto de 3.5 horas por mantenimiento correctivo, es decir, existió una falla y se necesitó la ayuda de algún técnico para corregir la falla, entonces el cálculo sería el siguiente:

$$Disponibilidad = \frac{\text{Horas disponibles} - (\text{Horas disponibles} - \text{Horas requeridas}) - \text{Tiempo muerto}}{\text{Horas disponibles}}$$

$$= \frac{24 - (24 - 22) - 3.5}{24} = 0.7708$$

Rendimiento:

$$= \frac{\text{Hrs pieza buena} + \text{Hrs pieza scrap}}{\text{Hrs disponibles} - (\text{Hrs disponibles} - \text{Hrs requeridas}) - \text{Tiempo muerto}}$$

$$= \frac{16.5 + 0.5}{24 - (24 - 22) - 3.5} = 0.9189$$

Calidad:

$$= 1 - \frac{\text{Hrs pieza scrap}}{\text{Hrs pieza buena} + \text{Hrs pieza scrap}};$$
$$= 1 - \frac{0.5}{16.5 + 0.5} = 0.971$$

Por lo tanto, el cálculo del OEE sería de la siguiente forma:

$$OEE = \text{Disponibilidad}(0.7708) \times \text{Rendimiento}(0.9189) \times \text{Calidad}(0.971) = 0.6877$$

Por ende, se tiene un resultado de OEE del 68.77%

$$\text{Eficiencia} = 75\% \text{ vs } OEE = 68.77\%$$

El OEE será siempre más bajo que el resultado de la eficiencia, puesto que el OEE nos refleja el estado real de la utilización de nuestro equipo, sin tiempos muertos, y sin defectos. Mientras que la eficiencia nos muestra la capacidad que se tuvo para producir en un tiempo planeado específicamente para producción.

## Mejora del proceso

La actividad de mejora no solo para el departamento de manufactura fundición, sino que se trata de una actividad de mejora para toda la planta. Esta actividad es el análisis, diseño, fabricación e implementación de las tinas de enfriamiento.

Las actividades a mencionar a continuación se desarrollan como una prueba piloto en la máquina #16, la cual es de una capacidad de 640 toneladas.

Primeramente, esta máquina contaba con una resbaladilla y 2 ventiladores para el enfriamiento de las piezas producidas; durante el proceso el operador debería acumular un total de entre 10-12 piezas antes de retirar la primera ya que esta es la que tenía un mayor tiempo en enfriamiento.

La implementación de tina de enfriamiento en dicha maquina a dado como resultados una excelente mejora; aunque se cuenta con una resbaladilla de menor dimensión la cual facilita el desplazamiento de la pieza hacia la tina de enfriamiento. al momento de extracción de la pieza se activa un contador mediante un PLC SIEMENS (configurado con programa logo) el cual da el tiempo suficiente para que la pieza se posicione en la tina de enfriamiento, una vez estando en la tina sobre una charola se genera un desplazamiento vertical haciendo que la pieza se sumerja en agua o alguna sustancia especifica durante un tiempo corto en el cual se enfría, posteriormente sube y el operador toma la pieza continuando el proceso, dando lugar a mayor tiempo entre operador-pieza durante el cual la pieza se puede examinar más a fondo y por lo tanto obteniendo una pieza de mayor calidad.

Los resultados obtenidos a través de las mejoras realizadas al proceso de enfriamiento de las piezas son los siguientes.

Mes	Hrs. Maq. Req.	Piezas Buenas	% Eficiencia	de OEE
Enero	359	269.06	74.95	65.73%
Febrero	677.5	556.37	82.12	70.03%
Marzo	702.5	574.72	81.81	69.93%
Abril	565.7	464.06	82.03	67.25%
Mayo	531.3	412.8	77.7	62.60%
Junio	620	479.92	77.41	72.63%
Julio	519	429.56	82.77	72.28%
Agosto	499.6	364.36	72.93	68.18%
Septiembre	552	396	71.74	78.65%
Octubre	480.3	362.26	75.42	78.30%
Noviembre	468.5	380.29	81.17	78.20%
Diciembre	433	403.59	93.21	57.25%
<b>Total</b>	<b>6408.4</b>	<b>5093.02</b>	<b>79.47</b>	

Tabla 1.1 Resultados después de la mejora

## 4 | CONCLUSIONES

En conclusión, este proceso de producción logro mejorarse gracias al cambio realizado en el proceso de producción, al cambiar el sistema de enfriamiento de las piezas recién fundidas, pasando de un sistema de enfriamiento con ventiladores a lo que es hoy un sistema de enfriamiento por tinas con agua, teniendo a la misma en circulación para mantener el agua a una temperatura que no afecte en un choque térmico a las piezas. Se colocó una tina de enfriamiento en el área de fundición, con el fin de tener flujo de una sola pieza, detectar fallas a tiempo, mejorar y tener un proceso más eficiente.

Con esto se obtuvieron los siguientes beneficios:

- Se incorpora una charola de fácil de extracción para facilitar la limpieza general de la tina, con esto se obtiene el lugar un área más limpia y se contribuye con las 5's.
- Se adapta un indicador de temperatura para regular el ambiente ideal de enfriamiento de la pieza.
- Se ahorran esfuerzos diarios al operador.
- Se cuenta con un recirculador de agua, en cual ayuda a un bajo consumo.
- Se implementa un sistema de nivelador de agua, manteniendo constante su nivel.
- Fue diseñada con un alto nivel de seguridad protegiendo al operador de cual-

quier tipo de accidentes.

- Medias estándar para el fácil manejo del operador.
- Dimensiones apropiadas para diversos productos.
- Se logra mantener una temperatura de operación constante entre 35 y 45 °C.

## REFERENCIAS

Holman, J. P. (1998). *Transferencia de calor*. España: Mc Graw Hill.

Ohno, T. (1988). *Toyota Production System*. Tokyo, Japan: Productivity, Inc.

Press, P. (1996). *TPM Four Every Operator*. Portland, Obregon : The Japan Institute Of Plant Maintenance.

S. Kalpakjian, S. S. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. Pearson Prentice Hall.

Shingo, S. (1983). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Tokyo, Japan: Productivity Press.

Villaseñor, A. (2007). *Manual de Lean Manufacturing*. Limusa.

Wallace J. Hopp, M. L. (2008). *Factory Physics*. New York: Mc Graw Hill.

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTRUCTURA MÓVIL ENFOCADA A UN ROBOT DE RESCATE

*Data de aceite: 03/10/2022*

### **Martha Isabel Aguilera Hernández**

Tecnológico Nacional de México, Instituto  
Tecnológico de Nuevo Laredo

### **Juan Antonio Algarín Pinto**

Tecnológico Nacional de México, Instituto  
Tecnológico de Nuevo Laredo

### **Daniel Medina Romero**

Tecnológico Nacional de México, Instituto  
Tecnológico de Nuevo Laredo

### **Manuel Ortiz Salazar**

Tecnológico Nacional de México, Instituto  
Tecnológico de Nuevo Laredo

### **José Luis Ortiz Simón**

Tecnológico Nacional de México, Instituto  
Tecnológico de Nuevo Laredo

### **Raúl Francisco Aguilera Hernández**

Tecnológico Nacional de México, Instituto  
Tecnológico de Nuevo Laredo

### **Gustavo Rojo Velázquez**

Tecnológico Nacional de México, Instituto  
Tecnológico de Nuevo Laredo

### **Daniel Olivares Caballero**

Tecnológico Nacional de México, Instituto  
Tecnológico de Nuevo Laredo

**RESUMEN:** El presente documento pretende mostrar la forma en la que se diseñó e implementó una estructura robótica móvil capaz de desplazarse por diversos tipos de territorios,

mostrando de manera concreta la concepción de ideas, prototipos y construcción de este. A su vez, se demuestra la aplicabilidad de este tipo de proyectos para las tareas de rescate en situaciones de alto riesgo y/o de desastre. Se plantea detalladamente los resultados obtenidos en función de la movilidad y estabilidad presentados por la estructura mecánica mientras se desplaza por escenarios no estructurados, lugares disparejos, escaleras, entre otros.

**PALABRAS CLAVE:** Robot de rescate, grados de libertad, sistemas mecánicos, estabilidad mecánica, diseño mecánico.

**ABSTRACT:** This document aims to show the way in which a mobile robotic structure capable of moving through different types of territories was designed and implemented, showing in a concrete way the conception of ideas, prototypes and its construction. Also, the applicability of this type of projects for rescue tasks in situations of high risk and / or disaster is demonstrated. The results presented by the mechanical structure are detailed in terms of mobility and stability while moving through unstructured scenarios, uneven places, and stairs, among others.

## 1 | INTRODUCCIÓN

La incorporación de tecnologías ha facilitado la realización de tareas donde se requiere un mayor esfuerzo humano. Es en la robótica móvil donde se puede encontrar un gran campo de aplicación para la consecución de objetivos diversos. Un ejemplo muy importante

de los beneficios que la robótica móvil es capaz de aportar es el control de sistemas por espacios o zonas en las que la capacidad humana no puede ingresar. Algunas veces, la implementación de sistemas robóticos es la única opción que se tiene para poder realizar un proceso si se desea estar en un ambiente 100% seguro, como lo es el objetivo principal de la presente investigación: la construcción de un sistema que pueda recorrer zonas de desastre.

Se han realizado grandes avances referente a estructuras móviles para que estas puedan moverse en todo tipo de terreno y se ha llegado a diseñar una gran cantidad de propuestas para tratar de cumplir casi en todas las posibles condiciones en las que se pueda localizar un determinado móvil. En este proyecto, se pretende presentar nuevas ideas para el diseño de una estructura que pueda responder de mejor manera ante terrenos dispares y que además presente la capacidad de moverse a través de zonas con grados de complejidad aleatorios sin que pierda su estabilidad. También, se desea analizar la estructura mecánica a implementar, con el propósito de visualizar que el comportamiento del robot sea el óptimo para realizar las tareas que un robot de rescate debe ser capaz de cumplir.

Los robots de rescate representan proyectos de enfoque social con aplicación en situaciones de gran aleatoriedad y urgencia, su impacto es tan importante como su estudio, diseño e implementación. Son estos robots los encargados de buscar información en zonas de desastre o en lugares donde ha ocurrido un fenómeno natural. Su misión consiste por tanto en brindar de manera remota información del lugar sobre el que se desplaza, así como detectar y dar anuncio de los factores que resulten de interés al operario del mismo. Por tales motivos, el diseño de la estructura que permitirá al robot moverse óptimamente constituye el pilar sobre el que se sustenta el correcto funcionamiento de todo el robot.

En el presente documento se detalla cada uno de los análisis que tuvieron que ser llevados a cabo para la construcción de una estructura mecánica capaz de realizar la tarea de movilidad de un robot de rescate. En la primera sección, se precisan cada una de las tareas que se deseó alcanzar una vez implementado el diseño final, así como también las ideas y diseños de estructuras mecánicas preliminares.

En la segunda sección del artículo, se muestra los dos prototipos construidos, así como también se describen las pruebas a las que fueron sometidos para que con base en su rendimiento se pudiera tomar la mejor decisión. De esta forma, se pudo diseñar y analizar dos estructuras mecánicas de manera física, así como también cuantificar su rendimiento y efectividad al momento de desplazarse por diversas arenas.

A su vez, se muestra la forma en la que se implementó la estructura mecánica final, así como también se describen cada uno de los aspectos que tuvieron que ser considerados para la construcción de este. También, se detallan aspectos que fueron estudiados para el control del movimiento de la estructura, como lo son: selección de controladores PWM, motores, materiales para el ensamblaje de eslabones, módulos de potencia, control

teleoperado y estudio de dimensiones y masas en general; a modo de poder obtener las respuestas deseadas ante las diversas pruebas que se buscaban aplicar.

Finalmente, se describen cada uno de los resultados obtenidos por parte de la estructura mecánica construida en términos de movilidad según el tipo de terreno sobre el que se desplazaba. Así también se analizan los tiempos y las formas en las que el sistema robótico responde cuando es controlado de manera remota. Mediante un análisis objetivo de dichos resultados se pretende demostrar la aplicabilidad de los conceptos mecatrónicos en la implementación de este tipo de proyectos, así como también su importancia e impacto en la sociedad.

## **2 | DISEÑO CONCEPTUAL DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA.**

El objetivo principal de construir un robot de rescate es lograr el acceso a lugares de peligro donde un humano no puede ingresar o inclusive acercarse. Para lograr el correcto desempeño de las tareas del robot, es imperativo lograr que éste pueda moverse de manera estable y óptima por los lugares en los que accederá. Entre las tareas que se buscaron cumplir al momento de implementar el presente trabajo de investigación se pueden mencionar primordialmente las siguientes:

- Diseñar un sistema de estructura móvil capaz de desplazarse por terrenos no estructurados y dispares, con diferentes grados de dificultad.
- Definición de terrenos de prueba para cada uno de los prototipos que se desearon implementar.
- Selección del prototipo final con base en los resultados obtenidos de las pruebas preliminares con base en movilidad.
- Armado de la estructura final mediante componentes elegidos a partir del análisis y criterios de selección de materiales.
- Implementación de un control a distancia que permita al robot responder de manera correcta y a tiempo, así como también que permita al usuario el pleno control de la estructura sin importar el terreno sobre el que realiza su desplazamiento.
- Lograr estabilidad tanto en terrenos horizontales, inclinados de hasta 30 grados, subiendo escaleras, así como en terreno escabroso y sobre arena.

El aspecto más importante será por tal motivo la forma en la que la estructura mecánica es capaz de mantener su estabilidad mientras se mueve por las diferentes superficies. De este modo, es necesario precisar la manera en la que se desea lograr dicha estabilidad.

La estructura mecánica debería presentar la cantidad de grados de libertad que permita lograr una mayor flexibilidad, centro de masa cercano a la superficie, adecuada

cantidad de puntos de apoyo para distribución de peso y agarre.

Finalmente, la estructura debería estar pensada para poder contener diferentes elementos por encima o dentro de sí. Por tal motivo, fue de gran importancia el diseñar un robot con base en el espacio que fuera capaz de brindar para el montaje de componentes, como lo son brazos robóticos, sensores, circuitos eléctricos y/o electrónicos, módulos de control, potencia y sistemas de visión, entre otros aspectos que pudieran ser utilizados. Además, el compartimento debería estar protegido ante impactos y ser de material resistente.

Las ideas de los diseños fueron realizadas por computadora antes de comenzar a llevar a cabo las implementaciones de los primeros prototipos, cuyas características y ventajas se detallan en la siguiente sección.

### 3 | DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS

Se analizaron dos diseños que fueron idealizados con la finalidad de cumplir uno de los retos más complejos para una estructura móvil: subir escalones sin perder el equilibrio ni retroceder. Entre las ideas surgidas, se encuentra la mostrada en la figura 1. Se puede observar un diseño mecánico en cuyo arrastre se encuentra formado por un sistema de transmisión de engranajes y orugas. Este tipo de sistemas es muy útil para lograr movimientos efectivos donde se busca un arrastre y un espacio de contacto mucho mayor, permitiendo que el robot o la estructura mecánica siempre encuentren estabilidad y equilibrio mientras pasa por terrenos no estructurados.

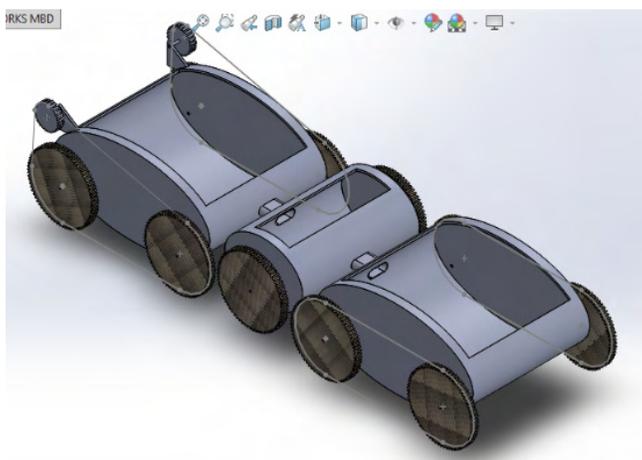


Figura 1 – Prototipo de estructura mecánica con bases de orugas.

Entre las características que presenta este tipo de diseño se pueden mencionar los siguientes aspectos:

- Centro de masa generalmente cercano a la superficie sobre la que se desliza.
- Bases acopladas a los motores por medio de sistemas de transmisión. Generalmente, estos sistemas suelen tener un gran torque y un mejor arrastre, aunque presentar una disminución de la velocidad.
- Una mejor distribución de la masa de la estructura, ya que suele repartirse a lo largo de las bases y las orugas.
- Diseño de tres vagones permitiendo dos movimientos libres entre la parte frontal y final del mismo, alcanzando flexibilidad y estabilidad.
- Amplio espacio para contener objetos.
- Conexión entre vagones por medio de resortes que permitieran mantener la unión entre elementos de manera firme, así como también generar el empuje necesario para que el vagón en contacto con el resorte reciba un impulso para subir el obstáculo que se encuentre de frente.

Por otra parte, se analizó la incorporación de una estructura que tuviera más de dos movimientos de libertad para mantener de mejor manera el equilibrio. Alargar la oruga o dividirla en más vagones solamente complicaría su control y se tendrían movimientos muy articulados que se resumirían en falta de acomodo de piezas, poca flexibilidad y/o estabilidad. Por tal motivo y de forma que se buscó incorporar algunas ideas generales de otros sistemas tal como el mencionado en [1], se realizó un diseño mecánico de un robot hexápodo, que permitiera a partir de su movimiento adaptarse a la forma del terreno con base en tres grados de libertad. Si se lograba distribuir de manera idónea la capacidad de movilidad del robot a lo largo de su estructura, podía garantizarse la adaptación del robot al terreno sobre el que estuviera situado.

En la figura 2 se puede visualizar el segundo diseño para el prototipo de un robot de rescate.

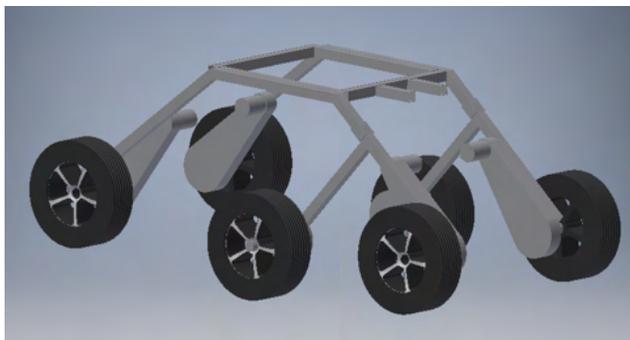


Figura 2 – Prototipo de estructura mecánica hexápodo.

Entre las características más importantes y beneficios que presenta el segundo

diseño preliminar se pueden mencionar los siguientes aspectos:

- Sistema de robot hexápodo con seis ruedas (y motores) independientes, permitiendo agarre y adaptación en más puntos de la superficie sobre la que se desplace el mecanismo.
- Sistema de escuadras frontales con cuatro llantas en sus extremos finales. Las escuadras presentan un movimiento independiente, de esta forma se busca que la estructura mecánica vaya adaptándose a la forma del obstáculo sobre el que se desplaza.
- Un movimiento independiente en un lateral de la estructura mecánica (conformando así un tercer grado de libertad de la estructura). Con este movimiento se pretende que el robot se adapte a cualquier forma de terreno, manteniendo una estabilidad en ambas secciones laterales. Así, serán las tres ruedas izquierdas las que presenten este movimiento libre.
- Las uniones de las articulaciones con movimiento independiente deberían ir unidas por medio de baleros entre cada eslabón para permitir la movilidad deseada.
- Una base o plataforma superior cuadrada que servirá para posicionar la circuitería, baterías, controladores y módulos de potencia, así como también dos extensiones frontales como base firme donde irá el sistema de brazo robótico y el sistema de visión.

Una vez realizados los diseños de las estructuras que mejor se adaptaron a las necesidades del proyecto, se comenzó a implementar los prototipos de cada uno de los robots con materiales resistentes, pero de fácil acceso. En la figura 3 se pueden observar ambos prototipos construidos a partir de materiales como tubos de PVC, motores DC a 5 volts, cartón corrugado, entre otros materiales. Así, en el inciso a) de la misma figura se puede observar la implementación de una estructura mecánica con base en orugas sometida a una prueba para escalar dos obstáculos de manera consecutiva, lo cual, aunque con algunas dificultades, logró realizar. Por otra parte, en el inciso b) se puede apreciar la implementación del segundo diseño, el robot hexápodo. La ventaja principal que mostró este mecanismo fue la facilidad con la que se adaptaba a los distintos tipos de terrenos sin perder la estabilidad en su movimiento. Presentó un agarre óptimo al momento de escalar y/o pasar sobre obstáculos y desniveles, así como para subir y bajar escalones. A pesar de presentar un centro de masa alto, no resultó en ningún tipo de inconveniente para su correcta movilidad a lo largo de las diversas pruebas a las que fue sometido.



Figura 3 – Prototipos de estructura mecánicas preliminares.

Aunque los prototipos de las estructuras mecánicas podían desplazarse de manera correcta a lo largo de terrenos desnivelados o no estructurados, una de las pruebas que resultaron contundentes para la selección del prototipo a implementar fue la subida y bajada de escalones. Se construyó una escalera de tres escalones con una altura de 15 centímetros cada uno y un último nivel con área de alrededor de 300 centímetros cuadrados. Lo que se quería visualizar era la facilidad con la que cada prototipo era capaz de subir la escalera a lo largo de sus tres escalones, llegar al nivel superior, y comenzar a bajar por el lado posterior de la escalera. Para esta prueba, se tomó en cuenta el nivel máximo alcanzado por cada estructura mecánica y el tiempo con el que lograba cumplir la prueba hasta el nivel alcanzado.

En esta prueba también se pudo analizar la capacidad de respuesta del mecanismo para adaptarse al momento de escalar, así como la capacidad de agarre que presentaba cada estructura al momento en la que se iba adaptando a cada uno de los escalones.

En la figura 4 es posible visualizar la escalera de madera sobre la que se realizó esta prueba final, también, los resultados obtenidos se pueden visualizar en la Tabla I. Como se ha establecido, la movilidad que presentaban los mecanismos según el tipo de terreno era relativamente igual y estable para ambos diseños preliminares, por tanto, es necesario mencionar que esta prueba fue el criterio de decisión definitivo para la selección del prototipo a implementar de manera real y con los materiales que conformarían al diseño final.



Figura 4 – Escaleras construidas para pruebas finales.

ROBOT CON ORUGAS.			
Escalones alcanzados al subir.	Tiempo del recorrido de subida.	Escalones realizados de bajada.	Tiempo del recorrido de bajada.
1	9 segundos.	3	7 segundos.
ROBOT HEXÁPODO.			
3	20 segundos.	3	12 segundos.

TABLA I - RESULTADOS DE PRUEBAS PARA MOVILIDAD EN ESCALERA DE PROTOTIPOS DISEÑADOS.

Como se puede visualizar en los resultados obtenidos, la estructura mecánica que saca mayor provecho de su diseño será el robot hexápodo y los tres movimientos libres que presenta a lo largo de sus eslabones.

El robot con base de orugas representa un mayor peso a cargar cuando este se encuentra en pendientes cuesta arriba. Debido a la estructuración de sus vagones, habrá un punto en el que el mecanismo deberá comenzar a arrastrar los vagones posteriores a medida que sube, provocando un aumento en la demanda de energía del sistema, así como de torque en los motores. El diseño mecánico de la oruga representaba estabilidad al momento de lograr los desplazamientos por los distintos tipos de terreno gracias a su centro de masa muy cercano al suelo y área de contacto amplia con el mismo; sin embargo, son estas mismas características las que no le permiten escalar o subir pendientes.

Por otra parte, el robot hexápodo presenta movimientos más lentos debido a que antes de superar el obstáculo sobre el que se encuentra, empieza a adoptar y ajustarse a la forma del terreno que pisa, logrando primero estabilizarse para después continuar con su trayectoria. De esta forma, se puede visualizar que en las pruebas realizadas la estructura mecánica en forma de hexápodo fue capaz de subir la escalera diseñada que, aunque con ligeras complicaciones, logró completar en un tiempo aceptable.

En la bajada de escalones o trayectorias con pendiente cuesta abajo, es necesario analizar la forma en la que las estructuras móviles no cayeran por efectos de la gravedad (lo que facilita el movimiento de bajada), sino que mantuvieran un agarre constante y una efectiva adaptabilidad con cada escalón que sucedía al bajar. Esto no se vio así con el

primer prototipo, pero sí con el hexápodo. El robot con orugas bajaba de manera abrupta y rápida debido al peso y empuje que ocasionan los vagones que se encuentran en la parte posterior del mismo. En el caso del robot hexápodo, aunque también realizaba movimientos bruscos al bajar, antes de comenzar a llegar al escalón que seguía, debía adaptarse a la forma de los escalones para que esto le permitiera avanzar.

De las pruebas realizadas, se pudo comprobar que la mejor opción para el diseño final era el mostrado en la figura 2 ya que mostraba características muy útiles para la estructura mecánica de un robot de rescate. La forma en la que el sistema se puede acomodar en seis puntos de apoyo, adoptar la forma del obstáculo sobre el que se está desplazando, sus tres grados de libertad en cuanto a la movilidad de sus eslabones se refiere, y su estabilidad en general hizo de este prototipo preliminar la mejor opción para su implementación.

#### **4 | IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA FINAL**

Una vez que se ha decidido la estructura que conformará a la parte mecánica del robot de rescate, es necesario comenzar a analizar las principales modificaciones que resultan pertinentes realizar en función del comportamiento observado de los prototipos preliminares. Entre las primeras modificaciones que se planteó realizar fue el incorporar una caja protectora para los componentes que tenían que conformar al robot. El diagrama de la figura 5 muestra el diseño realizado por computadora, así como también las nuevas medidas que conformarán al sistema robótico una vez implementado en su tamaño final. Dentro de la caja que se implementó, se buscó contener por medio de tres repisas con rieles, todos los controladores, baterías, circuitos y cables necesarios para hacer mover a la estructura mecánica. A su vez, se planteó mantener un nivel superior sobre el cual irían montados los elementos que cumplan alguna función de recolección de información del entorno que rodea al robot. De esta manera, sólo se dejaría en el exterior de la estructura mecánica los elementos necesarios (brazo robótico, sensores, sistema de visión), y por dentro de la caja todos los componentes eléctricos y electrónicos que los hicieran funcionar.

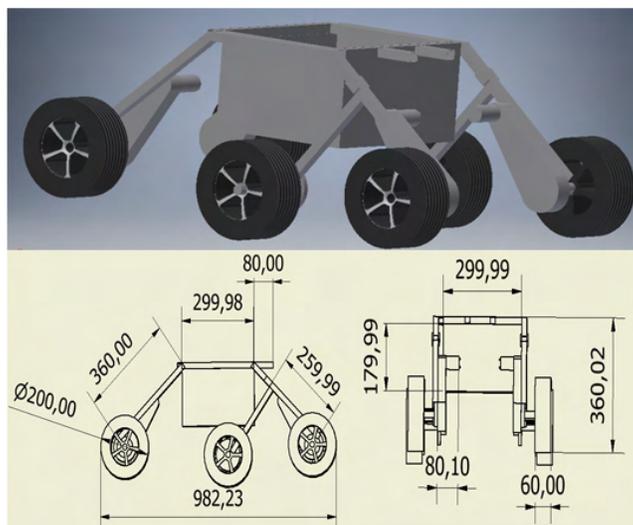


Figura 5 – Diseño final de estructura mecánica para robot de rescate con medidas en milímetros.

### a) Características de los materiales para cada componente

Para la estructura general de la base móvil se buscó materiales que fueran huecos por dentro para tener el menor peso posible en la base. Por lo tanto, era necesario considerar materiales como aluminio y cobre debido a su ligereza. Sin embargo, aunque son metales ligeros, suelen fallar ante pruebas de impacto o golpes debido a su falta de dureza. Por una parte, el aluminio puede presentar una propiedad de ablandamiento y tendencias a deformarse bajo ciertos contactos; mientras que el cobre presenta la característica de ser muy quebradizo cuando se somete a una gran cantidad de impactos.

Una vez descartados, se pensó utilizar tubería galvanizada empleada en las instalaciones eléctricas, presentando problemas de control de la estructura debido al peso que este material presenta. También se tomó en cuenta la tubería de PVC y se comenzó a hacer pruebas en las que se observó una alta flexibilidad y resistencia a impactos. Sin embargo, las conexiones (articulaciones) entre las tuberías de PVC tendían a fallar ante los impactos de la estructura con los objetos, haciendo que estas se salieran de lugar o desarmaran a los eslabones. A pesar de que se siguió tomando como una opción, al final se optó por utilizar un material denominado PTR o Perfil Estructural de  $\frac{3}{4}$ ". El PTR es un material metálico cuadrado hueco con alta resistencia, tiene un peso considerable pero la calidad y las características de dureza que presenta hicieron de este material el empleado para el diseño final.

### b) Selección de los motores y acoplamiento a neumáticos

Una vez seleccionado el material que iba a constituir a la estructura mecánica, fue necesario hacer los cálculos pertinentes para la selección de los motores que serían

los encargados de trasladar dicho mecanismo a lo largo de los distintos terrenos que se pudieran encontrar. A su vez, se decidió utilizar únicamente cuatro motores (dos en la parte frontal del robot y dos en la posterior) que harían mover a cuatro neumáticos, mientras que los otros dos restantes tendrían un movimiento libre, arrastrado por la fuerza de los motores.

La estructura mecánica presentó un peso aproximado de 20 kilogramos y las ruedas fueron de un radio de 11 centímetros. Tomando en cuenta que la carga de 20 kilogramos se estará distribuyendo entre 4 motores (omitiendo las 2 ruedas centrales del robot que no cuentan con motor) se obtienen 5 kilogramos por motor y dándole una tolerancia de +/- 3 kilogramos por los terrenos escabrosos se obtienen 8 kilogramos por motor, por lo que el torque que se busca es de 88 kilogramos por centímetro. De esta forma se comenzó a buscar motores que cumplieran con este torque, consiguiendo de esta manera los motores comerciales visualizados en la figura 6.



Figura 6 – Motores utilizados para mover la estructura móvil [2].

Los motores seleccionados tienen su aplicación en los carros para niños y presentan un alto torque, el cual era requerido para este fin. En las pruebas del proveedor se demostró que un par de motores son capaces de mover una carga de 20kg en una pendiente de 15°. Bajo estas condiciones, cada motor está desempeñando un torque de 150 kilogramos por centímetro considerando una rueda de 15 centímetros. Es importante destacar que el motor del que se habla es de 33,000 revoluciones por minuto y cuenta con una transmisión que desarrolla el torque antes mencionado y disminuye la cantidad de dichas revoluciones. Así, realizando una comparación con el torque calculado y el desempeñado por el motor seleccionado a una potencia media (150 kilogramos por centímetro); se decidió utilizar dichos motores. Los motores funcionan a 12 volts y consumen entre 20 y 45 watts dependiendo de la carga a la que se sometan. Esta información es relevante para la elección de la batería a utilizar tomando en cuenta que son 4 motores los que consumirán esta energía.

Una vez seleccionados los motores, fue necesario realizar un diseño por computadora para el acoplamiento que se requiere para unir cada eje del motor y los neumáticos a utilizar. El diseño final es el que se muestra en la figura 7.

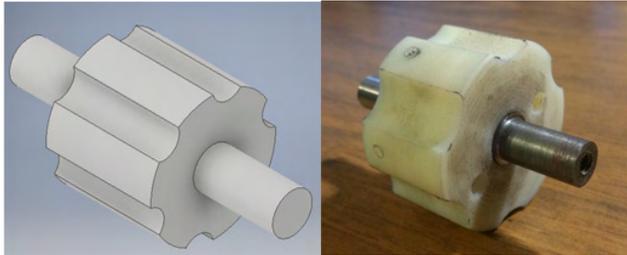


Figura 7 – Diseño de acoplamiento (izquierda) y acoplamiento real (derecha).

En los diagramas de la figura 8 se muestra a su vez las dimensiones del acoplamiento utilizado. El material empleado debía ser resistente, pero a la vez con un grado de maleabilidad debido a la forma que debía presentar. Para este fin, los acoplamientos utilizados para cada motor y su respectivo neumático fueron construidos de Nylamid. Este material es un polímero que presenta la propiedad de tener alta dureza y durabilidad.

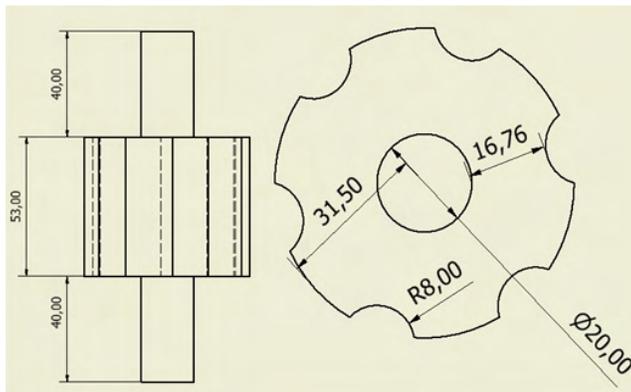


Figura 8 – Dimensiones del acoplamiento entre llantas y motores medido en milímetros.

Una vez seleccionados los motores y el material que conformaría a la estructura mecánica del sistema robótico, fue necesario comenzar a analizar a los módulos de potencia que se podían implementar.

### c) Selección de los componentes de control

Para el control de giro de los motores se optó por una configuración de puente H con relevadores de potencia utilizados por los automóviles. Se decidió este tipo de relevadores

ya que se tiene contemplado que cada relevador deberá soportar 100 watts como mínimo ya que los motores estarán conectados en paralelo del lateral izquierdo, aquí como también del lateral derecho. Tomando en cuenta esta información y considerando que si cada uno consume su máximo de 45 watts estará demandándole 90 watts al relevado, además de que se toma en cuenta una tolerancia de +/-10%. Los relevadores soportan 40 amperes a 12 volts, equivalente a 480 watts de potencia

Al ya tener un arreglo para hacer el cambio de giro de los motores se decidió alimentar los comunes de los relevadores con un solo PWM que alimentaría a los cuatro motores. Ya teniendo la máxima potencia exigida para los motores (siendo aproximadamente 200 watts) el PWM que se decidiera adquirir debía cumplir con este requerimiento por lo que se optó por utilizar el XY-1260, el cual cuenta con un potenciómetro variador de ancho de pulso. Soporta una carga de 10 hasta 50 volts a 60 amperes, equivalente a 3000 watts. De esta manera se asegura un funcionamiento sin problema alguno.

#### **d) Implementación del diseño final**

En la figura 9 se puede observar el diseño final de la estructura mecánica construida. A su vez, puede observarse que ya ha sido acoplada con otros elementos para la prueba de movilidad utilizando masas externas.

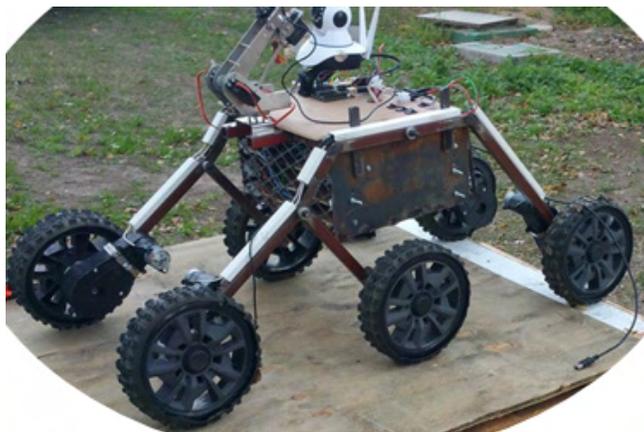


Figura 9 – Estructura móvil final.

En el diseño final, se puede observar a una estructura mecánica en forma de hexápodo, con dos escuadras de movimiento independiente y la presencia de una articulación en el lateral izquierdo del mismo, permitiendo el tercer grado de libertad de la estructura. Los neumáticos son a partir de los encontrados en las llantas para bicicleta, esta elección fue de gran importancia ya que le permite al robot presentar un mejor agarre a las superficies, en especial cuando la estructura mecánica está escalando. A su vez, se puede observar a los cuatro motores que lo conforman, incorporados a los eslabones de la

estructura mecánica por medio de sistemas de abrazaderas. Finalmente, dentro de la caja metálica que conforma al cuerpo de la estructura se pueden encontrar todos los módulos de potencia y control que hacen funcionar a todos los elementos pertenecientes a la estructura mecánica. Los componentes se colocan en tres niveles en forma de repisas, como se puede visualizar en la figura 10.



Figura 10 –Repisas para acomodar los componentes dentro de la caja de la estructura.

## 5 | RESULTADOS

La forma de analizar los resultados de la presente implementación consistió en la realización de pruebas de movilidad de la estructura a través de diversos tipos de terrenos, como lo son la tierra, escombros, madera y concreto. A su vez, se analizó la forma en la que la estructura era capaz de adaptarse ante las diversas circunstancias o formas que el terreno podría presentar. Es necesario mencionar que el mando a distancia se realizó mediante un control de radio frecuencia, de esta forma, se desea cumplir que no exista ningún tipo de intervención humana que ayude al movimiento del robot a través del territorio sobre el que se desplace. Como el propósito de la presente investigación se basó en el diseño de la estructura mecánica, los resultados analizados están en función de los tiempos y capacidades presentados por dicho mecanismo al momento de desplazarse.

Como se presentó en la figura 9, el diseño constó de básicamente seis extremidades con ruedas en cada una, permitiendo una mejor adaptabilidad según el tipo y forma del terreno. De esta manera se visualizó el comportamiento de la estructura en terrenos horizontales, inclinados a  $30^\circ$  y en escaleras, además de que estos podían ser escabrosos o de arena.

En la tabla II se pueden observar los tiempos tomados a partir de cinco pruebas realizadas en tres tipos de circunstancias. Todas las pruebas se realizaron en un terreno de área de 5 metros de largo por 1.2 metros de ancho. En dichas pruebas se midió el tiempo que tomaba al mecanismo desplazarse desde el inicio del largo de la pista, hasta su punto final. En todas las pruebas presentadas en la tabla II el terreno era horizontal y únicamente

cambiaba la consistencia de este. El primer tipo de terreno sobre el que fue probado el mecanismo consistió en terreno parejo y liso, de esta forma se podía partir de un análisis en función de tiempos y velocidad promedio del robot cuando este no realizaba un gran esfuerzo comparado a cuando se le exige uno mayor por el tipo de terreno. De esta forma, el segundo bloque de pruebas realizadas se llevó a cabo sobre un terreno escabroso, mientras que el tercer bloque de pruebas se llevó a cabo sobre un terreno arenoso. Los cinco tiempos medidos en las pruebas de los tres diferentes tipos de terrenos se pueden visualizar a continuación, así como también la velocidad promedio que presentó el robot al momento de desplazarse por los 5 metros.

PRUEBA 1. TERRENO LISO.	
Intento.	Tiempo del recorrido del robot (distancia de 5 metros horizontales).
1	8 segundos.
2	9 segundos.
3	7.5 segundos.
4	9 segundos.
5	8.5 segundos.
Tiempo promedio.	8.4 segundos.
Velocidad promedio.	0.59 m/seg.
PRUEBA 2. TERRENO ESCABROSO.	
Intento.	Tiempo del recorrido del robot (distancia de 5 metros horizontales).
1	9 segundos.
2	9 segundos.
3	10 segundos.
4	9 segundos.
5	10 segundos.
Tiempo promedio.	9.4 segundos.
Velocidad promedio.	0.53 m/seg.
PRUEBA 3. TERRENO ARENOSO.	
Intento.	Tiempo del recorrido del robot (distancia de 5 metros horizontales).
1	11 segundos.
2	9.5 segundos.
3	10 segundos.
4	11 segundos.
5	10 segundos.
Tiempo promedio.	10.3 segundos.
Velocidad promedio.	0.48 m/seg.

TABLA II - RESULTADOS DE PRUEBAS PARA MOVILIDAD DE ROBOT DE RESCATE.

En la tabla II se puede apreciar que el mecanismo es más veloz cuando se desplaza sobre superficies lisas ya que el robot no requiere de ningún esfuerzo para adaptarse o moverse. Sin embargo, cuando éste se mueve a través de otros tipos de terrenos (como el escabroso o arenoso), el esfuerzo es mayor, aunque no se ve reflejado de manera importante en su velocidad, la cual, en las pruebas de desplazamiento horizontal solamente representó una disminución del 10.17% y 18.64% (para las pruebas 2 y 3 respectivamente) en comparación con la velocidad que presenta en terrenos lisos. Sin embargo, aunque la velocidad promedio que presentó el mecanismo en las pruebas realizadas es considerablemente buena, lo que se deseó visualizar es que el robot pudiera desplazarse sin mayores dificultades sobre este tipo de terrenos, así como también que presentara un adecuado funcionamiento cuando este se adaptaba a la forma del terreno.

Por otra parte, era necesario analizar la capacidad que presentaba la estructura mecánica para adaptarse y la manera en la que escalaba en pendientes, para este caso se realizó varias pruebas que consistían en subir escaleras. De esta manera se visualizó el comportamiento del mecanismo para pruebas como la mostrada en la figura 11. La escalera construida constó de 5 escalones. Cada escalón presentaba una altura de 16 centímetros y un paso de 25 centímetros. Así, la altura total que presentaba la escalera era de 80 centímetros. El propósito de esta prueba final era el observar la manera en la que los tres grados de libertad en la estructura permitían al robot acomodarse mientras subía cada escalón, permitiéndole siempre mantener el equilibrio y alcanzar un agarre firme a la superficie. A su vez, este tipo de prueba permitió comprender si la potencia dada por los motores era la óptima para que el robot se desplazara por cualquier tipo de lugar.



Fig. 11 – Pruebas realizadas en escaleras.

Al igual que las tres pruebas anteriores (para desplazamiento horizontal), se presenta en la tabla III los tiempos medidos para cuando el robot logra subir por completo los cinco escalones.

PRUEBA. SUBIR ESCALERAS.	
Intento.	Tiempo del recorrido del robot (subir 5 escalones completos).
1	32.5 segundos.
2	29 segundos.
3	30 segundos.
4	35 segundos.
5	31.5 segundos.
Tiempo promedio.	31.6 segundos.

TABLA III - RESULTADOS DE PRUEBAS PARA MOVILIDAD DE ROBOT DE RESCATE EN ESCALERAS.

La estructura mecánica presentó resultados aceptables para cada una de las pruebas que se le hicieron y logró concluir cada una de ellas sin problema alguno. De esta manera y analizando los tiempos tomados por el robot para completar cada una de las trayectorias sugeridas, se pudo comprender la forma en la que disminuía o mejoraba la efectividad del sistema. A su vez, gracias a las pruebas descritas en el presente apartado, se pudo comprender que el diseño conceptual y la distribución de los grados de libertad presentes en el robot resultaron una muy buena idea para que el sistema tuviera un adecuado trabajo de desplazamiento y movilidad, sin importar el lugar donde se encontrara o la tarea que se deseara que realizara.

## 6 | CONCLUSIONES

La necesidad por construir sistemas robóticos asistenciales para los humanos ha ido en aumento. En el presente trabajo de investigación se pudo construir una estructura mecánica que fuera capaz de desplazarse por terrenos dispares y no estructurados, así como analizar su capacidad de respuesta. De esta forma, se pudo comprobar objetivamente la principal aplicación del robot construido: un sistema capaz de ingresar y desplazarse a través de zonas de desastre. También, entre los objetivos que el robot puede alcanzar se pudo observar un adecuado control, adaptación y movilidad. Para lograr los resultados presentados en el presente trabajo de investigación, se debe considerar que gran parte del éxito del mismo se debió a las pruebas preliminares de las ideas conceptuales que se tuvieron, así como la comparación de los prototipos construidos.

El presente proyecto pretende ser un punto de partida a la solución de una problemática de carácter social y cuyo impacto es de gran importancia. Tener sistemas que sean capaces de ayudar de manera eficiente ante situaciones de gran aleatoriedad y de alto riesgo es una meta que se deseó alcanzar a lo largo del trabajo de investigación. La estructura mecánica construida tiene el objetivo de asistir a un usuario para la recolección de información de una zona de desastre, para lo cual es imperativo que la movilidad de

la misma deba ser muy eficiente y capaz. El enfoque del actual trabajo de investigación consiste por tanto, en la implementación de sistemas que permitan a la estructura mecánica ir recaudando y enviando la información del lugar donde se encuentra.

## REFERENCIAS

[1] Algarin Pinto, Rendón, Jesús. "Diseño e implementación de una estructura móvil capaz de moverse en terrenos disperejos y subir escaleras con control teleoperado y autónomo". Reporte de residencias. Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo, Diciembre 2017.

[2] Barrientos, Antonio; et al. "Fundamentos de Robótica". Editorial McGraw Hill.

[3] Sanguino, Tomás. "Robótica móvil. Principios, tendencias y aplicaciones: Cinemática, Filtro de Partículas, Inteligencia Artificial, Kinect, Mecatrónica, Robótica Móvil." Departamento de Ingeniería Electrónica, de Sistemas Informáticos y Automática, Universidad de Huelva, 2014.

[4] Aguilera Hdz. Martha I., "Reporte de resultados de actividades del Club de robótica Mecatrón 2017", Reporte Interno del Tecnológico de Nuevo Laredo, Diciembre 2017-2019.

[5] Siegwart Roland, Reza Nourbakhsh, Introduction to Autonomous Mobile Robots (Intelligent Robotics and Autonomous Agents), 2da. Edición, MIT 2011.

[6] Dudek G., Jenkin, "Computational Principles of Mobile Robotics", Cambridge University Press, 2000.

[7] Predko M., *Programming robot controllers*, Robot DNA Series. Mc. Graw Hill, 2003.

[8] Clark D., Owings M., *Building robot drive trains*, Robot DNA Series. Mc. Graw Hill, 2003.

[9] McComb G., *Constructing Robot Bases*, Robot DNA Series. Mc. Graw Hill, 2004.

[10] Aguilera Hdz;et al. "Evolución del diseño de un sistema de recolección de basura utilizando manufactura aditiva en un robot limpiador de playa", Revista de Ingeniería Tecnológica, Septiembre, 2019 Vol.3 No.11 23-28.

## PROYECTO MERCURIO CERO. REMOCIÓN DE MERCURIO MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN, EN MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO ARZOBISPO CUENCA MEDIA

*Data de aceite: 03/10/2022*

**Luis Eduardo Peña Prieto**

Universidad Distrital

**Adriana Alméciga Gómez**

Universidad ECCI, Semillero PRISMA,  
Dirección Ciencias Básicas, COLOMBIA

**Rafael Meza Benitez**

Universidad ECCI, Semillero PRISMA,  
Dirección Ciencias Básicas, COLOMBIA

**Xiomara Jiménez Muñoz**

Universidad ECCI, Semillero PRISMA,  
Dirección Ciencias Básicas, COLOMBIA

**Johanna Bonilla**

Universidad ECCI, Semillero PRISMA,  
Dirección Ciencias Básicas, COLOMBIA

**RESUMEN:** La creciente demanda mundial y nacional de agua, por un lado, y la indiscriminada contaminación del recurso hídrico, por el otro, generan la urgente necesidad de desarrollar e implementar innovadoras tecnologías, más eficaces, eficientes y económicas de tratamiento de aguas residuales. La electrocoagulación se destaca por su sencillez, economía y fácil aplicabilidad en el tratamiento de aguas residuales de diferente procedencia (industrial, doméstica), particularmente las contaminadas por mercurio. Además, genera pocos residuos secundarios, no implica compra y almacenamiento de reactivos químicos (coagulantes, floculantes, desinfectantes), ya que estos son generados *in*

*situ* en el proceso de purificación del agua por electrocoagulación. Es rentable económicamente y presenta altos porcentajes de remoción (cerca o incluso el 100%, como en el caso del mercurio en la presente investigación). En la presente investigación se tomó agua del río Arzobispo (Bogotá-Colombia), se determinó experimentalmente por absorción atómica el contenido de mercurio (0,002 ppm), que resultó ser superior al límite permitido por la normatividad tanto nacional como internacional (0,001 ppm). Seguidamente se le realizó un tratamiento depurador por electrocoagulación, que permitió eliminar totalmente el mercurio presente. Para ello se realizaron 15 sesiones de electrocoagulación de a 30 minutos cada una de ellas. Los resultados de presencia de mercurio, llevados a cabo por absorción atómica mostraron PRESENCIA NO DETECTABLE.

**PALABRAS CLAVE:** Electrocoagulación, Mercurio, Agua Residual, Coagulación, Floculación.

MERCURY ZERO PROJECT.  
MERCURY REMOVAL THROUGH  
ELECTROCOAGULATION, IN WATER  
SAMPLES FROM THE ARZOBISPO  
RIVER IN THE MIDDLE BASIN

**ABSTRACT:** The growing global and national demand for water, on the one hand, and the indiscriminate contamination of water resources, on the other, generate the urgent need to develop and implement innovative, more effective, efficient and economic technologies for wastewater treatment. Electrocoagulation stands out for its simplicity, economy and easy applicability in

the treatment of wastewater from different sources (industrial, domestic), particularly those contaminated by mercury. In addition, it generates few secondary residues, it does not imply purchase and storage of chemical reagents (coagulants, flocculants, disinfectants), since these are generated in situ in the process of water purification by electrocoagulation. It is economically profitable and has high removal rates (close or even 100%, as in the case of mercury in the present investigation). In the present investigation, water was taken from the Arzobispo River (Bogotá-Colombia), the mercury content (0.002 ppm) was determined experimentally by atomic absorption, which proved to be higher than the limit allowed by both national and international regulations (0.001 ppm). Subsequently, an electrocoagulation treatment was performed, which allowed the total mercury to be eliminated. For this, 15 electrocoagulation sessions of 30 minutes each were carried out. The results of the presence of mercury, carried out by atomic absorption showed NO DETECTABLE PRESENCE.

**KEYWORDS:** Electrocoagulation, Mercury, Residual water, Coagulation, Flocculation.

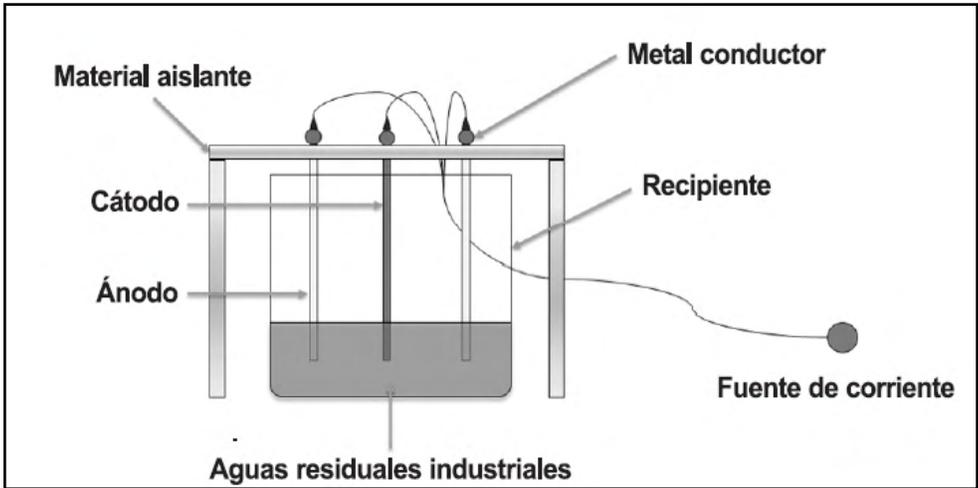
## OBJETIVO

Remoción de mercurio presente en aguas residuales vertidas al río Arzobispo (Bogotá-Colombia)

## INTRODUCCIÓN

### Electrocoagulación

- Técnica emergente de remediación de aguas residuales que surge a principios del siglo XX.
- Proceso en el agua residual de desestabilización de sustancias disueltas (sales inorgánicas, metales pesados tóxicos, otros), material sólido en suspensión (coloides) y líquido emulsionado (aceites, grasas) mediante la introducción de corriente eléctrica en el medio.
- La corriente eléctrica se introduce por medio de una celda electrolítica, los electrodos de la cual generan el agente coagulante (cationes de metal, comúnmente  $Al^{3+}$  en el ánodo) y burbujas de gas hidrógeno (en el cátodo) que permiten la electro-flotación y/o electro-sedimentación de los contaminantes ya coagulados.
- Celda electrolítica:

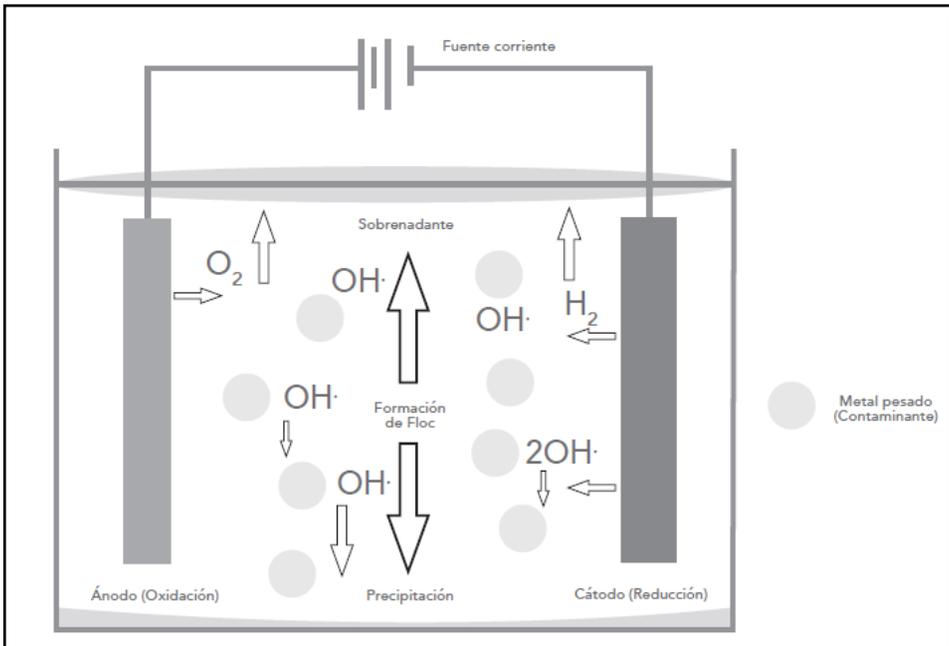


Sistema de electrocoagulación

Fuente: Nelly Bibiana Morales Posada (2010)

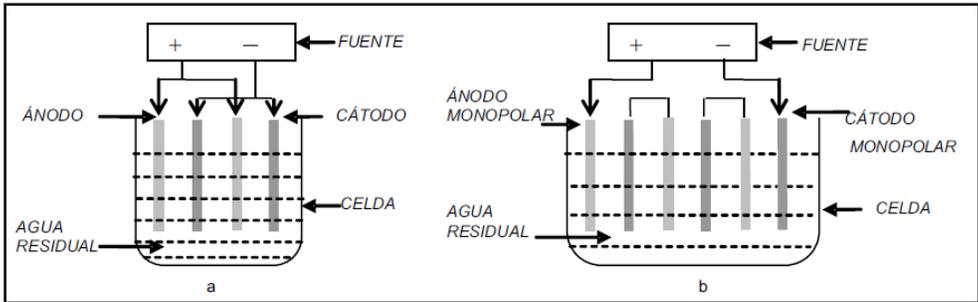
## Electrocoagulación

- En el ánodo ocurren todos los procesos de OXIDACIÓN y en el cátodo de REDUCCIÓN



Fuente: Gema Eunice Acosta Niño y otros (2010)

- El reactor puede trabajar en régimen continuo o Batch, en paralelo (a) o en serie (b):



Reactores para electrocoagulación tipo Bach. a) Conectados en paralelo; b) Conectados en serie

Fuente: Álvaro Arango Ruiz (2005)

<b>LEY 23 de 1973 – Expedida por: Congreso de Colombia</b>	
<b>Descripción:</b> Establece como deber de las personas, la protección de los recursos culturales y naturales del país, y de velar por la conservación de un ambiente sano.	<b>Aplicación:</b> Prevención y control de la contaminación mejoramiento y restauración (tratamiento) de recursos naturales.
<b>DECRETO LEY 2811 de 1974 – Expedida por: Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible</b>	
<b>Descripción:</b> Código nacional de los recursos naturales renovables y no renovables y de protección al medio ambiente. El ambiente es patrimonio común, el estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo. Regula el manejo de los RNR, la defensa del ambiente y sus elementos.	<b>Aplicación:</b> Considera los factores que deterioran el medio ambiente, entre ellos alteraciones a los cuerpos de agua natural. Postulados relacionados directamente con el agua como dominio público. Adquisición de derecho al uso del agua.
<b>LEY 9 de 1979 – Expedida por: Congreso de la republica</b>	
<b>Descripción:</b> Por la cual se dictan medidas sanitarias	<b>Aplicación:</b> Los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente. Clasificación del agua según su uso dentro de la cual se encuentra "industrial".

<b>LEY 99 de 1993 – Expedida por:</b> Congreso de Colombia	
<b>Descripción:</b> Crea el Ministerio del Medio Ambiente y Organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Reforma el sector Público encargado de la gestión ambiental. Organiza el sistema Nacional Ambiental y exige la Planificación de la gestión ambiental de proyectos.	<b>Aplicación:</b> Las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente, a fin de asegurar el desarrollo sostenible.

Alguna normatividad colombiana relacionada con el tratamiento y conservación del recurso hídrico

Fuente: Sonia Catalina Apréaz Aragón y Juan Sebastián García Garay (2015)

<b>RESOLUCION 1433 de 2004 – Expedida por:</b> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	
<b>Descripción:</b> Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV	<b>Aplicación:</b> Es el conjunto de programas, proyectos y actividades, con sus respectivos cronogramas e inversiones necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos, incluyendo la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales descargadas al sistema público de alcantarillado, tanto sanitario como pluvial, los cuales deberán estar articulados con los objetivos y las metas de calidad y uso que defina la autoridad ambiental competente para la corriente.
<b>RESOLUCIÓN 3957 de 2009 – Expedida por:</b> Secretario Distrital de Ambiente	
<b>Descripción:</b> Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital	<b>Aplicación:</b> Usos del agua y residuos líquidos. Se aplicará a los vertimientos de aguas residuales diferentes a las de origen doméstico dentro del perímetro urbano de Bogotá D.C. Determinación de los valores de referencia y las características que deben cumplir todos los vertimientos realizados a la red de alcantarillado.

<b>RESOLUCIÓN 631 de 2015 – Expedida por: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</b>	
<b>Descripción:</b> Por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.	<b>Aplicación:</b> Límites máximos permisibles para vertimientos de tipo ARnD (Agua residual no doméstica), proveniente de Fabricación y manufactura de bienes (dentro de la cual se incluye la industria textil)

Alguna normatividad colombiana relacionada con el tratamiento y conservación del recurso hídrico

Fuente: Sonia Catalina Apráez Aragón y Juan Sebastián García Garay (2015)

## DISEÑO EXPERIMENTAL

1. Diseño y elaboración del reactor electroquímico (celda electrolítica)
2. Diseño y elaboración de los electrodos. Ánodo (Aluminio); cátodo (Hierro)
3. Montaje de la celda electrolítica
4. Toma de muestras de agua del río Arzobispo (10 litros por muestra)
5. Muestra de agua de trabajo en el reactor electroquímico (8 litros)
6. Análisis del agua residual inicial para determinar el contenido de mercurio (0,002 ppm)
7. Electrocoagulación y filtración
8. Análisis final de contenido de mercurio (Mercurio cero)

## CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LA SOLUCIÓN ACUOSA

PROPIEDAD	VALOR INICIAL.
Temperatura	16
PH	5,9
Mercurio total.	0.002 ppm.

Variables de estudio

Independiente

Tiempo de electrocoagulación. 15 sesiones de 30 minutos cada una.

Dependiente

Cantidad de mercurio presente. 0,002 ppm.

## RESULTADOS

### Celda electroquímica



- Acrílico transparente de 3 mm de grosor.
- Electrodo intercalados, uno de aluminio seguido de uno de hierro.
- Área de cada electrodo:  $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} = 625 \text{ cm}^2$
- Separación de los electrodos: 1 cm
- Capacidad de la celda: 8 litros.
- Parámetros de corriente: 24 voltios, 20 amperios= 480 vatios hora.
- Tiempo de residencia: 15 sesiones de 30 minutos cada una

### Caracterización final de la muestra en estudio

Después de cada sesión de 30 minutos de electrocoagulación se procedió a dejar sedimentar la muestra durante 10 minutos y se realizó un filtrado artesanal mediante una pieza de tela fina. (Lino). Terminada la electrocoagulación última, la sesión número 15, se sometió la muestra a una filtración con bomba de vacío, utilizando el kitasato. El embudo de porcelana se utilizó colocándole doble papel filtro.

Finalmente, la muestra filtrada se analizó en un equipo de absorción atómica, marca MILESTONE, MODELO DMA-80, Serial 1050870. ANALIZADOR DIRECTO DE MERCURIO, en los laboratorios COLCAN (Bogotá).

Los resultados demostraron la REMOCIÓN TOTAL, MERCURIO CERO, al obtener

del equipo de absorción atómica: NO DETECTABLE.

### Concentración final de mercurio después de la electrocoagulación

Tiempo de residencia	Parámetro
7.5 HORAS	-0- ppm (no detectable)

### Cálculos de consumo másico del electrodo de sacrificio (aluminio), electricidad y costos del proceso de electrocoagulación

- La masa del electrodo de aluminio disminuye durante el proceso de electrocoagulación.
- Según las leyes de Faraday:

$$w_{Al} = \frac{Eq-g(Al)}{96.500\text{Coulomb}} * I(A) * t(s) = \frac{\left(\frac{27}{3}\right)gAl}{96.500\text{Coulomb}} * 20A * 3600s = 6,715\text{ g Al/h}$$

1 Faraday=96.500 Coulomb

- Precio de aluminio: COP\$6000/Kg
- Precio de Al por desgaste por proceso de 7,5 horas de electrocoagulación de 8 litros de agua residual hasta Mercurio cero:

$$6000 \frac{\$}{Kg} * 0,006715 \frac{Kg}{h} * 7,5 h = COP\$302,18$$

- Precio Kwh promedio en Chapinero (Bogotá): COP\$500
- Consumo de energía eléctrica en el proceso de electrocoagulación hasta Mercurio cero:  $20A * 24V = 480$  vatios (w)
- Precio de consumo eléctrico por proceso de 7,5 horas de electrocoagulación de 8 litros de agua residual hasta Mercurio cero:

$$500 \frac{\$}{Kwh} * 0,480Kwh * 7,5 h = COP\$ 1800$$

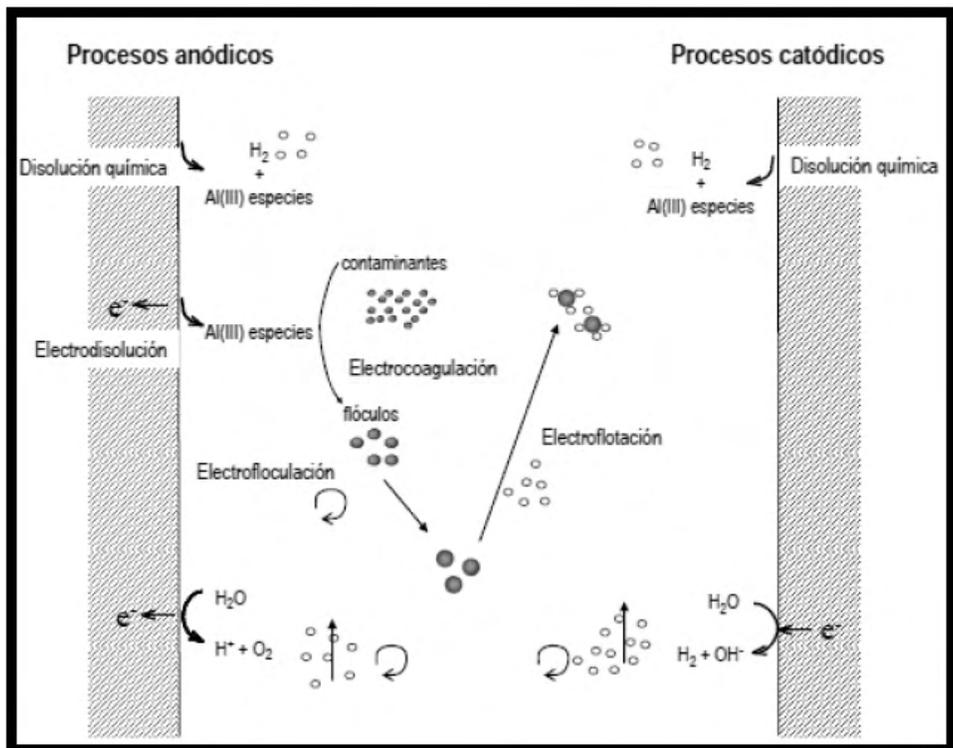
- Precio total de electrocoagulación de 8 litros de agua residual hasta Mercurio cero:  $COP\$302,18 + COP\$ 1.800 = COP\$ 2.102$

**~ COP\$2000**

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

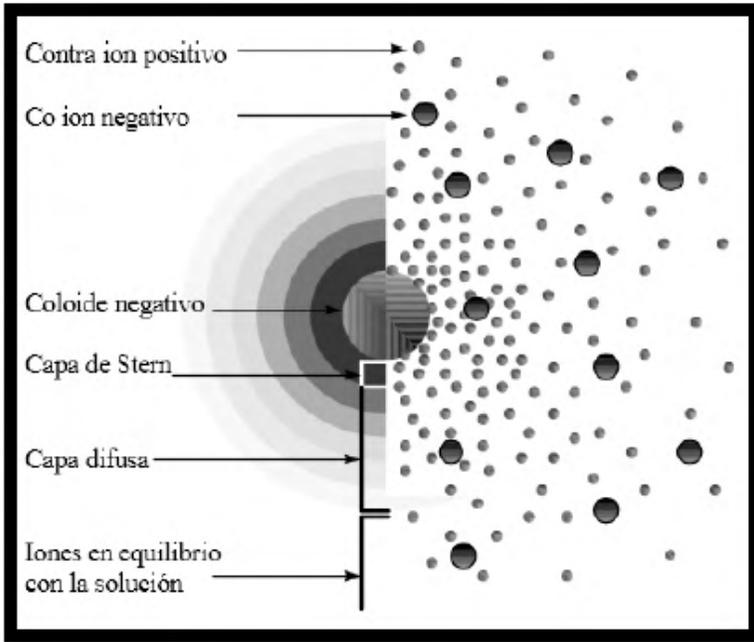
- La electrocoagulación demostró ser una técnica efectiva de tratamiento de aguas residuales que presentan mercurio.
- Procesos que ocurren en la electrocoagulación:

a) Oxidación anódica, reducción catódica, electrocoagulación, electroflotación, electrosedimentación



Fuente: (Ruíz, et al., 2007).

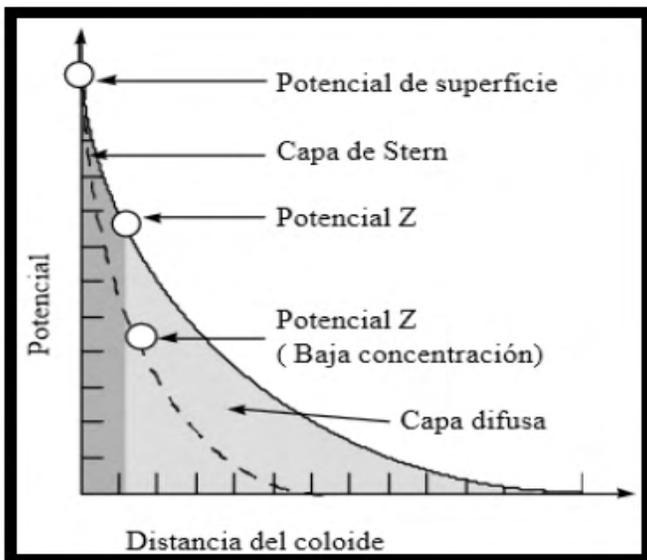
b) Desestabilización de partículas coloidales y emulsionadas:



Capas de un coloide

Fuente: (Yoval, et al., 2000).

c) Disminución del Zeta potencial, coagulación y floculación de partículas coloidales y emulsionadas:



Potencial Zeta y potencial superficialFuente: (Yoval, et al., 2000).

## REACCIONES QUÍMICAS DE ELECTRODO

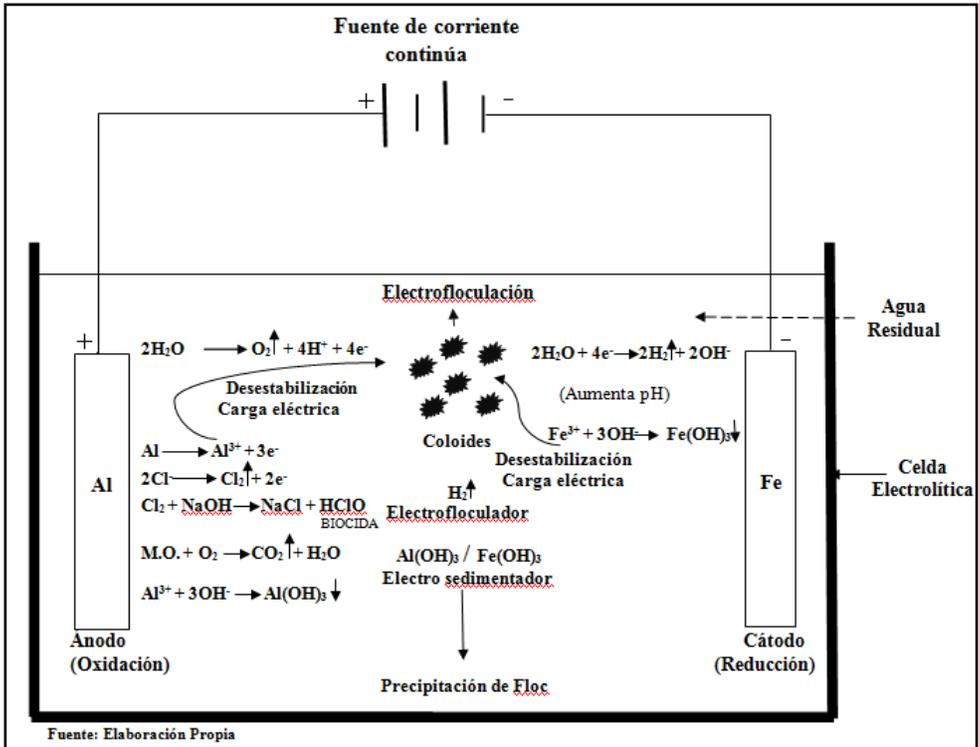
### Anodo

$2 H_2O \rightarrow O_2 \uparrow + 4 H^+ + 4 \bar{e}$	Formación de oxígeno molecular que evita malos olores y la eutrofización del agua electro coagulada.
$Al \rightarrow Al^{3+} + 3 \bar{e}$ $Al^{3+} + 3 OH^- \rightarrow Al(OH)_3 \downarrow$	Precipitado amorfo que atrapa materia electro coagulada y provoca su flotación y/o sedimentación.
$MO + O_2 \rightarrow CO_2 \uparrow + H_2O \uparrow$	-Oxidación de materia orgánica. -Disminución de DBO, DQO, COT, DOT.
$2 Cl^- \rightarrow Cl_2 \uparrow + 2 \bar{e}$ $Cl_2 + NaOH \rightarrow NaCl + HClO$	Generación <i>in situ</i> de un Agente biocida, HClO (eliminación de microorganismos patógenos)

### Cátodo:

$2 H_2O + 4 \bar{e} \rightarrow 2 H_2 \uparrow + 2 OH^-$	-Generación de Hidrógeno gaseoso- Agente electro floculador. -Aumento de pH. Favorece la precipitación de metales pesados tóxicos en forma de sus hidróxidos. -Disminución de la dureza del agua. -Neutralización del agua residual inicial (disminución de costos económicos por adición de agentes estabilizantes de pH).
$Fe^{3+} + 3 OH^- \rightarrow Fe(OH)_3 \downarrow$	Precipitado amorfo que atrapa materia electro coagulada y provoca su flotación y/o sedimentación.
$HCO_3^- + OH^- \rightarrow H_2O + CO_3^{2-}$ $CO_3^{2-} + Me^{2+} \rightarrow MeCO_3 \downarrow$ $Me^{2+} = Ca^{2+}, Mg^{2+}, \text{otros.}$	Eliminación de la dureza del agua.

## PROCESOS ELECTROQUÍMICOS DE ELECTRODO



## CONCLUSIONES

1. Por electrocoagulación se logró la eliminación del mercurio presente en el agua del río Arzobispo hasta MERCURIO CERO
2. Se diseñó y construyó un prototipo de celda electrolytica, que le imprime un valor agregado didáctico a la investigación
3. Se llevó a cabo la implementación industrial del prototipo a nivel de planta piloto para el tratamiento de las aguas residuales de una industria de galvanoplastia
4. Se realizó un balance de costos del proceso, que permitió concluir que este es financieramente viable ( para electrocoagular hasta 1m<sup>3</sup> de agua residual)
5. La electrocoagulación es una tecnología emergente con amplias perspectivas de aplicación en pequeñas plantas de tratamiento de aguas y en países en desarrollo, ya que:
  - a) Los equipos requeridos son de fácil diseño y no requieren grandes espacios físicos
  - b) Se suprime el uso de sustancias químicas (coagulantes, floculantes, desinfectantes, reguladores de pH)

- c) Se disminuye sustancialmente la formación de lodos y la necesidad de su posterior tratamiento y disposición
- d) Los lodos generados tienen menor contenido de agua ligada, lo que facilita su tratamiento ya que se evita el proceso de secado

## REFERENCIAS

1. Arango Ruíz Álvaro. La electrocoagulación, una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista lasallista de investigación, vol. 2 N0 1. Corporación universitaria Lasallista. Medellín- Colombia. enero-junio-2005
2. Bain Robert, Evaluación global de la exposición a la contaminación fecal a través del agua potable- Instituto Del Agua. Universidad Carolina Del Norte. 8-mayo-2014.
3. Camaselle, MA. Sanromán. Pazos, M. t.Ricart c (2005). Decolorouzitación of textile índigo dye by electric current, artículo en internet, base de datos science Direct en Engeneering Geology-77.
4. Gleesson Tom et al, 2012. Balance hídrico de acuíferos globales, revelado por la huella por la huella de agua subterránea. Universidad MC GILL-MONTREAL-CANADA.
5. Ministerio de la protección social, Ministerio de Medio ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 0631-marzo-17-2015.
6. Mollah M, yousuf.journal de hazardous materials. Vol. 84. PP.29
7. Morales Posada Nelly Bibiana. Sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas. Revista: Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 20-1, pp. 33-44. Bogotá, Junio de 2010. ISSN 0124-8170
8. Niño Acosta G. E. y otros. La electrocoagulación como un tratamiento eficiente para la remoción de metales pesados presentes en aguas residuales. Revista Universidad Militar Nueva Granada, Volumen 9, Número 2, Páginas 306-317 noviembre 2013. ISSN 1900-4699.
9. PNUMA, Programa De Las Naciones Unidas Para El Medio Ambiente. Evaluación Mundial Sobre Mercurio. GINEBRA-SUIZA-2002. Publicación en español-2005.

## REDUCTION OF WORKPLACE ACCIDENT RATES USING MATHEMATICAL STATISTICAL MODELS

*Data de aceite: 03/10/2022*

**Ramón A. Pons Murguía**

PhD. Researcher

Faculty of Industrial Engineering-University of  
Guayaquil

**Eulalia M. Villa González Del Pino**

PhD. Researcher

Faculty of Industrial Engineering-University of  
Guayaquil

**ABSTRACT:** The objective of this research was to select the best regression model that would allow identifying the variables of the Occupational Health and Safety Systems, which have a greater impact on the occurrence of accidents, to project programs of improvements in order to reduce accident occurrence rates. The research was conducted with a sample of 24 small and medium-sized Ecuadorian companies. The causal factors to be investigated were Occupational Health Management, Occupational Risk Prevention Management, Management of Natural Hazards / Anthropic Risks and Document Management. The mathematical models subjected to analysis to determine the relationship between the causal factors and the number of accidents were the Poisson, Negative Binomial and Logistics Regression models. STATGRAPHICS Statistical Software was used to determine the model with the best goodness of fit. Statistical inference was made by comparing Poisson, negative binomial and logistic regression models, the latter

being the one that presented the best fit. The application of the designed intervention plans made it possible the observation of improvements in the performance of these systems, which was evidenced by a significant reduction in accident rates.

**KEYWORDS:** Workplace Accidents, Regression Models, Multivariate Statistics, Logistics Models, Safety and Health Audits, Performance Improvement.

### 1 | INTRODUCTION

Authors such as Sanchez [8], Forastieri [2] explain that accidents constitute a large source of cost generation. The economic costs of occupational and work-related injuries increase rapidly, according to a report by the International Labor Organization [10]. Although, it is impossible to set a value on human life, compensation figures indicate that the cost of illnesses and accidents at research represents about 4% of the world's gross domestic product (about \$2.8 trillion) in terms of lost research time, production interruptions, research absenteeism, disease treatments, incapacity, and survivor's benefits. The developed countries are affected by these figures, despite the high technological development, [5], [7], [11].

At international and national levels, there are now alarming figures for the occurrence of occupational accidents. The most recent OIT calculations [11] show that there are 2.3 million

annual deaths and 317 million work-related accidents (more than 5000 per day) and for each fatal accident there are between 500 and 2000 injuries [3], [1].

Statistics such as these show the need to carry out scientific research that contributes to the reduction of these indicators, thereby improving the working conditions (as these are the ones that favor the occurrence of those events), management systems of health and security at work, as well as physical, psychological, and social well-being of the human factor that performs its functions in work environments.

At present, the application of mathematics to the modeling of various current phenomena has been expanded, then, it is necessary to link this science with safety and health in work environments, to reduce the incidence of inadequacies in the performance of Management Systems of Safety and Health at Work.

Hence, the objective of this research is to fit a statistical model for the analysis and identification of the factors that have the greatest influence on the occurrence of occupational accidents (counting variable) and reduce workplace accident rates, by improving the effectiveness of the occupational health and safety management system.

The methods used and the main results obtained are explained.

## 2 | MATERIALS AND METHODS

The diagnosis of the performance of the management system and its relationship with the occurrence of accidents was carried out using the procedure shown in Figure 1. A sample of 24 representative Ecuadorian SMEs Guayas province of different sectors, with high accident rates, was selected. The definition of variables was made from the checklist for the performance evaluation of the Management System in Health and Safety at Work, shown in Table 1 [6].

The diagnosis of the performance of the systems was carried out by applying the checklist shown in Table 1, in correspondence with the legal requirements in Ecuador and the ISO 45001: 2018 standard [4]. The causal factors to be investigated are Occupational Health Management, Occupational Risk Prevention Management, Management of Natural Hazards / Anthropic Risks and Document Management. The application of this checklist allowed the calculation of the System Efficiency Index from the sum of the points assigned to all the elements of the checklist. If the value of the index is less than 80%, it is considered that the efficiency of the system is not satisfactory and it is necessary to evaluate the risks for occupational health and safety, based on the results of the checklist, as well as the damage that these can cause. evaluating its probability of occurrence, severity and vulnerability.

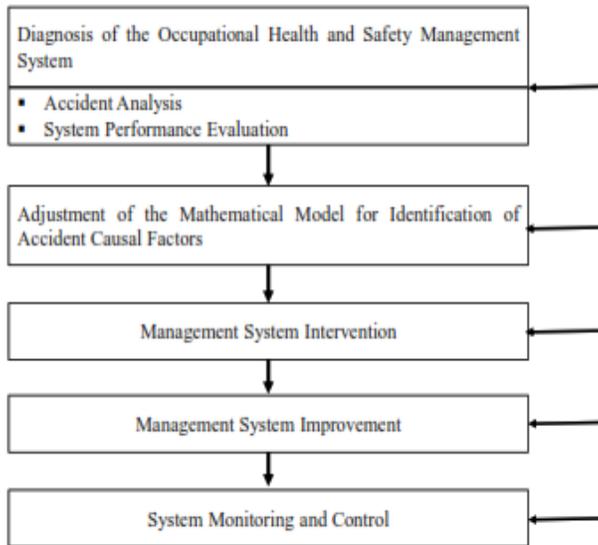


Figure 1: Procedure for the diagnosis of the Management System and its Relationship with the occurrence of accidents

TYPES OF MANAGEMENT, ELEMENTS, SUB-ELEMENTS
<b>Occupational Health Management</b>
1.- Statistical Information (2 Sub- Elements)
2.- Health Surveillance (9 Sub- Elements)
3.- Investigation of Incidents, Accidents and Occupational Diseases (4 Sub- Elements)
<b>Occupational Risk Prevention Management</b>
4.- identification of Risk Factors (7 Sub- Elements)
5.- Evaluation of Risk Factors (13 Sub- Elements)
6.- Control and Monitoring of Risk Factor Control Measures (12 Sub- Elements)
7.- Training (2 Sub- Elements)
8.- Use of Personal Protective Equipment (15 Sub- Elements)
9.- Security in the Purchase of Inputs (2 Sub- Elements)
<b>Management of Natural Hazards/ Anthropic Risks</b>
10.- Emergency Response Plans (6 Sub- Elements)
11.- Plans for the Prevention and Control of Grave and Major Accidents (15 Sub- Elements)
<b>Document Management</b>
12.- Policy-Corporate Social Responsibility (8 Sub- Elements)

Table 1: Simplified Checklist for management Systems Diagnosis

The models selected for the analysis of accident rates, as shown in Figure 2, were Poisson, Binomial Negative and Logistics Regressions since, the dependent variable is a counting of accidents. The independent variables are the four types of management evaluated by means of the checklist.

The processed data were obtained from the application of the checklist, Table 1, for performance evaluation of Health and Safety Management Systems at the selected SMEs. Model comparison and selection were made by means of Regression Analysis, Analysis of

Variance, Goodness of Fit Tests and other statistical inference methods. The model with the best fit, Logistics Regression, made it possible to identify the Occupational Risk Prevention Management, and its components, as the causal factors of the accident rates in the SMEs selected for the present study.

Data processing and analysis, were made by means of the statistical software Statgraphics [9], to determine the mathematical model with the best fit to find the causal factors of the recorded accident rates. All this made it possible the implementation of measures to improve the performance of management systems and reduce accident rates in the SMEs under study.

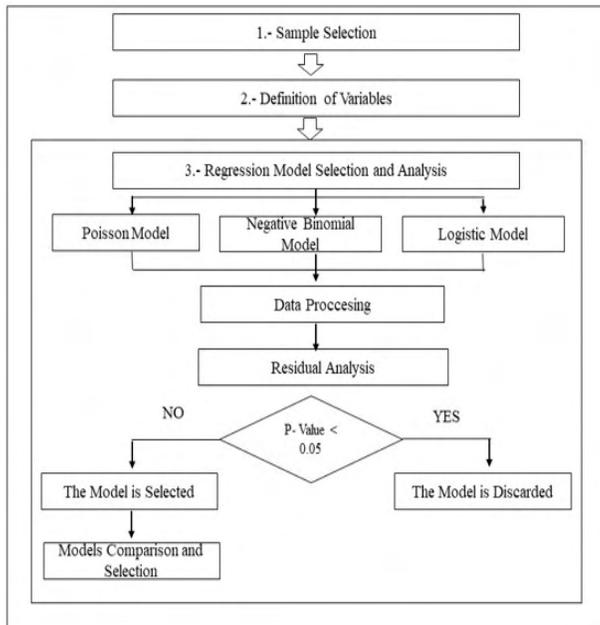


Figure 2: Procedure for identification of Accident Causal Variables

### 3 | ANALYSIS AND RESULTS

Table 2 shows the three models fitted by applying the statistical software Statgraphics. The best fitted model was the Logistics Regression Model. Table 3 shows a comparison of the three models obtained from the statistical software application. The Logistics Regression model presented a P-value lower than 0.05 for the Analysis of Deviations, so there is a statistically significant relationship between the variables, with a confidence level of 95.0%. Furthermore, the P-value for the residuals is greater than 0.05, indicating that the model is not significantly worse than the best possible model for these data with a confidence level of 95.0% or greater. The percentage of deviation of the number of accidents explained by

the model is equal to 66.1381%. This statistic is similar to the usual R-Squared statistic. The adjusted percentage, which is more appropriate to compare models with different numbers of independent variables, is 53.046%. The highest P-value for likelihood ratio test is 0.0000, which belongs to Prevention Management. Hence, that term is statistically significant at the 95.0% confidence level. It is observed that this model presents better results than the Negative Binomial Regression.

The Poisson model presents the P-value for the residuals less than 0.05, indicating that it is significantly worse than the best possible model for these data, with a confidence level of 95.0%.

The components of the Prevention Management level variable: the identification of hazards and risks for OSH; evaluation; control and monitoring of risk control measures; training, the use of safety equipment for personal protection and security when purchasing supplies; are the ones that affect the occurrence of occupational accidents and the weaknesses identified in the diagnosis of the OSH Management System performance carried out in the SMEs studied, and allowed to verify in practice the results obtained by the mathematical analysis performed.

Regression	Model Fitted
Poisson	Number of Accidents = $\exp(3,244 - 0,069 * \text{Health Management} - 0,185 \text{ Prevention Management})$ Eq. (1)
Negative Binomial	Number of Accidents = $\exp(3,397 - 0,075 * \text{Health Management} - 0,196 * \text{Prevention Management})$ Eq. (2)
Logistics	Number of Accidents = $\exp(\eta) / (1 + \exp(\eta))$ , Where $\eta = 6,868 - 0,730 * \text{Prevention Management}$ Eq. (3)

Table 2: Mathematical Fitted Regression Models

Inference Criteria	Poisson Model	Negative Binomial Model	Logistics Model
Explained Percentage of Deviations	61,491	62,360	66,138
Adjusted Percentage	56,977	52,435	53,046
Significative Variables (Likelihood Ratiotest)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Health Management</li> <li>Prevention Management (Máx. P-Value= 0,0001)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Health Management</li> <li>Prevention Management (Máx. P-Value= 0,0165)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prevention Management (P-Value= 0)</li> </ul>
Residual Analysis	P-Value < 0,05	P-Value > 0,05	P-Value > 0,05
Analysis of Deviations	P-Value < 0,05	P-Value < 0,05	P-Value < 0,05

Table 3: Comparison of Fitted Regression Models

The identification of the components that more affected the system performance made it possible its level of intervention.

This has been carried out at the OSH Management Systems, improved their behavior, the degree of compliance with the training actions and the level of competence

in OSH of the workers. These aspects denote progress in the quality of life by encouraging the participation of workers in preventive activities and project preventive management for the gradual improvement of current levels of system performance; all of which, together with the results obtained from its adoption and implementation, allowed to verify compliance with the research hypothesis.

The identification of the components that more affected the system performance made it possible its level of intervention.

The rational and comprehensive application of the procedures proposed in the 24 Ecuadorian SMEs, made it possible to verify their feasibility and convenient use as an effective methodological instrument for identify the main weaknesses of the OHS Management System, as well as a significant 50% reduction in the occurrence of major non-conformities. The results of the effectiveness indicators, once the intervention has been carried out at the OSH Management Systems, improved their behavior, the degree of compliance with the training actions and the level of competence in OSH of the workers. These aspects denote progress in the quality of life by encouraging the participation of workers in preventive activities and project preventive management for the gradual improvement of current levels of system performance; all of which, together with the results obtained from its adoption and implementation, allowed to verify compliance with the research hypothesis.

## **4 | CONCLUSIONS**

The identification and use of mathematical statistical models to determine the elements of the OSH Management System, which are causal factors of high rates of occupational accidents, within the framework of the specific procedure developed for diagnosis, constitutes a methodological novelty, because it made possible the choice of the prioritized aspects for the application of intervention programs that contribute to the improvement of the Management System of Health and Safety performance, all of which has allowed an increase in the quality of life in companies, through a significant reduction of workplace accident rates, as was demonstrated in its application to the 24 SMEs under study. Besides this, the approach used in the present investigation, exceeds the evaluations based on traditional accident rates indicators, because the last ones do not use statistical inference methods for decision-making, leading to a true identification of occupational hazards and measures to make possible their preventive elimination.

## **ACKNOWLEDGMENTS**

We are grateful to Professors Yaimara Peñate Santana and Freddy Steve Pincay, of the Guayaquil University, for reviewing our paper and their valuable suggestions that contributed to its final presentation.

## REFERENCES

- [1] Arquillos, AL and J.CR Romero, 2016. Analysis of workplace accidents in automotive repair workshops in Spain. *Safety and Health Work*, 7: 231-236.
- [2] Forastieri, V., 2009. The time lost due to accidents at work (In Spanish)]. *Secur. Environ. Mag.*, 115: 6-15
- [3] Hyung, Y.K and S.L. Seung, 2016. A policy intervention study to identify high-risk groups to prevent industrial accidents in republic of Korea. *Safety and Health Work*, 7: 213-217
- [4] ISO 45001 :2018. Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Requisitos con orientación para su uso.
- [5] Izquierdo, N.V., 2015. [Improvement of the process of management of safety and health in the work: Example of the energy sector (In Spanish)]. *Innovare J. Sci. Technol.*, 3: 1-10.
- [6] Obando Montenegro, J.E.; Sotolongo Sánchez, M.; Villa González Del Pino, E. M. (2019/a). El desempeño de seguridad y salud en el trabajo: modelo de intervención basado en las estadísticas de accidentalidad. *Revista Espacios*, 40 (43): 9. ISSN: 0798-1015.
- [7] Rahmani, A, M. Khadem, E. Madreseh, HA Aghaei and M. Raei et al., 2013. Descriptive study of occupational accidents and their causes among electricity distribution company workers at an eight-year period in Iran. *Saf. Health Work*, 4: 160-165.
- [8] Sanchez, AS., PR Fernandez, F.S. Lasheras, FJ.D.C. Juez and P.G. Nieto, 2011. Prediction of work-related accidents according to working conditions using support vector machines. *Appl. Math. Comput.*, 218: 3539-3552.
- [9] Statgraphics Centurion, 2017. Statgraphics Technologies, Inc. The Plains, Virginia.
- [10] Tarin, J. and A Galera, 2016. [OSH management system and work accidents in construction: Empirical evidence of 23 million hours of work in Argentina, Chile, Peru, Mexico and Florida USA (In Spanish)]. *Intl. J. ORF. Found.*, 7: 11-31.
- [11] Unsar, A.S. and N. Sut, 2015. Occupational accidents in the energy sector: Analysis of occupational accidents that occurred in thermal and hydroelectric centrals between 2002 and 2010 in Turkey. *Procedia Social Behav. Sci.*, 181: 388-397.

## SYSTEM MODELING RESEARCH PROJECT OF STUDENT'S GRADE POINT AVERAGE

*Data de aceite: 03/10/2022*

**Juan Carlos González-Castolo**

Universidad de Guadalajara CUCEA  
Zapopan-Jalisco  
ORC ID: 0000-0003-2659-0646

**Silvia Ramos-Cabral**

Universidad de Guadalajara CUVALLS  
Ameca-Jalisco  
ORC ID: 0000-0003-4204-1700

**Sara Catalina Hernández-Gallardo**

Universidad de Guadalajara CUCEA  
Zapopan-Jalisco  
ORC ID: 0000-0003-2152-1668

**Manuel Prieto-Méndez**

Universidad Castilla la Mancha  
Ciudad Real-La Mancha

**ABSTRACT:** This paper presents a general method to identify important factors involved in a comprehensive higher education scenario that can serve to obtain models that describe students' Academic Performance. Academic data were used without interfering with the procedure's capacity for generalization. The method is described with a novel combination of descriptive formalisms from computer science and mathematical symbols, the intention being to make the proposal as clear as possible and to identify possible areas of improvement and/or interest.

**KEYWORDS:** Educational research, academic performance, protocol formal description.

**RESUMEN:** Se presenta un método general que hace relevante los factores importantes, involucrados en un escenario completo de educación superior, relativos a obtener una clase de modelos que describan el Rendimiento Académico de los estudiantes. Se utilizan datos del ámbito académico sin que esto entorpezca la generalización del procedimiento. El método se describe de manera novedosa, utilizando formalismos descriptivos del área computacional y simbolismos matemáticos con la intención de ser lo más claro posible en la exposición e identificar puntos de mejora y/o interés de la investigación.

**PALABRAS CLAVE:** Investigación educativa, rendimiento académico, descripción formal del protocolo.

### 1 | INTRODUCTION

Modeling methods are resources of interest to address topics in multiple areas, including social, economic, technological and/or educational issues. This paper focuses on the area of education and proposes a method to describe the *Academic Performance (AP)* of higher education students. AP is defined as the *Grade Point Average (GPA)* for each semester at the *Participating University (PU)*. The proposed method looks at academic data taken from the domain of the *PU*; this does not mean, however, that the method overlooks the general educational environment. It is clear that the *AP* phenomenon involves multiple factors

that for the time being are not addressed due to lack of data and/or because they are not relevant for the purpose of this study; these factors include family environment, economic condition, emotional state, professor-student empathy, political environment, historical moment, cultural development, personality, health, social media, habits, etc.

It is common for university policies to include among their objectives an increase in *Graduation Efficiency Index* (GEI). The GEI remains an open discussion topic because there is no concrete consensus about how to calculate it. Ideally, a high GEI means that the students who initially enrolled graduated on time and earned good grades. When students graduate from college, they have presumably acquired the knowledge and skills needed to start working in their chosen field. An examination of this assumption is beyond the scope of this research project; it must be pointed out, however, that the concept of AP is based on the institution's vision, which could be seriously flawed. If it is generally accepted that human beings differ in interests and capabilities, then university programs should by rights deal with these differences by taking a different perspective on the AP concept so that it includes the responsibility of other actors, including the institution itself. In order to increase the GEI, it is proposed to give timely attention to cases in which there is a risk of students failing courses and/or earning low grades. The AP prognosis is a tool for deploying this attention effectively, since support, counseling, orientation and/or advisory resources are limited and can be employed inefficiently and/or be stretched too far. There are different modeling and/or analysis proposals to predict and/or explain AP. For example, (Tepper, 2017) (Covington & Covington, 2012) use linear regression models; (Nurhafizah, Ahmad, Siti, Hasfazila, & Mohd, 2018) uses multiple regression models; (Corengia, Pita, Mesurado, & Centeno, 2013) (Chatterjee, Shruti, Natekar, Rai, & Yeung, 2018) (Thompson, Bowling, & Markle, 2018) (McIsaac, Kirk, & Kuhle, 2015) employ logistic regression models; (R. S., A. K., & S., 2014) (González-Castolo, Ramos-Cabral, & Hernández-Gallardo, 2014) employ fuzzy sets; (Miñano, Castejón, Gilar Corbi, & Veas, 2017) use multivariable discriminant analysis; and (La Red Martínez, Karanik, Giovaninni, & Pinto, 2015) use data warehouse techniques and data mining. There are also differences in the variables involved in prediction proposals. For example, (Peled, Yovav, Barzyck, & Grinaustkid, 2019) identify some courses that are especially good predictors for specific undergraduate programs, while (Escolar-Llamazares, et al., 2019) employ socio-educational variables, especially mothers' level of education; (Talib & Sangiry, 12) consider student-centered variables such as academic competence, test competence, time management, and test anxiety. Some studies consider more conventional proficiency factors, such as previous GPA, previous institution type, and number of passed courses in the first year, (Thompson, Bowling, & Markle, 2018). The relationship between alexithymia and AP is examined in (Famarzi. & Khafri, 2017), although the author also looks at other variables such as intellectual capacity, mental health and socio-demographic indicators. (Corengia, Pita, Mesurado, & Centeno, 2013) make a proposal using data obtained from the *Differential Aptitude Test* (DAT). The work

of (Chatterjee, Shruti, Natekar, Rai, & Yeung, 2018) finds elements that indicate that it is of vital importance for students to attend class, engage in complementary course activities, and study in groups; (Rogaten & Moneta, 2017) conclude that developing creative cognition tends to improve AP. Several results appear to contradict each other, as they consider different types of variables as important, which reveals the partiality of the studies. For example, (Tarun, 2015) consider endogenous variables, while (Mclsaac, Kirk, & Kuhle, 2015) look at exogenous variables. There are different approaches to AP as well: (Micari, 2016) draw a correspondence between AP and passing a mathematics course; (Corengia, Pita, Mesurado, & Centeno, 2013) (Thompson, Bowling, & Markle, 2018) (Talib & Sansgiry, 12) (Garton, Kitchel, & Ball, 2005) use the GPA, and other studies such as (Tepper, 2017) take into account the courses that students have passed. Many works indicate that in order to study and forecast AP, it is important to focus mostly on the first year of university and include the second year when appropriate (Covington & Covington, 2012) (Chatterjee, Shruti, Natekar, Rai, & Yeung, 2018) (Mclsaac, Kirk, & Kuhle, 2015) (Garton, Kitchel, & Ball, 2005) (You, 2015) (Valera, Sinha, Ponsot Balaguer, & Valera, 2009).

This work is organized as follows. Section 2 presents the variables' definition. Section 3 describes the method to identify relevant variables for modeling AP. The procedure to obtain the models is showed in Section 4. Section 5 provides the limitation of the study. Finally, conclusions and future work are presented in Section 6.

## 2 | CONTEXT OVERVIEW

An analysis is made of records classified in three *Data Banks* (BDs), which in turn are classified into *specific banks*, also called *fields*.

### Data bank description

*BD<sub>1</sub> Academic History*

*BD<sub>1,1</sub> Aptitude test*

*BD<sub>1,2</sub> GPA from the previous institution*

*BD<sub>1,3</sub> Grade in the academic term*

*BD<sub>2</sub> Psychological Test*

*BD<sub>2,1</sub> Attention*

*BD<sub>2,2</sub> Study practice*

...

*BD<sub>3</sub> Record of Activities on Moodle of the courses in general*

*BD<sub>3,1</sub> Chats*

*BD<sub>3,2</sub> Forums*

## Nomenclature

$CU$	University Center	$p$	Amount of $CU$
$Ca$	Degree programs	$q$	Amount of $Ca$
$Ge$	Study groups	$r$	Amount of $Ge$
$Se$	Academic term	$s$	Amount of $Se$
$Cs$	Courses	$t$	Amount of $Cs$
$stu$	student		

### 3 | METHOD FOR IDENTIFYING VARIABLES

The following sections formally present the methods proposed to evaluate the variables and identify those that are relevant for the purpose of predicting AP.

#### 3.1 Considerations for data treatment

1. The variables correspond bijectively to the *fields*.
2. All the variables are *independent variables* ( $VI$ ), with the exception of  $BD_{1,3}$  which could be a *dependent variable* ( $VD$ ) when considered as a result.
3. If  $BD$  corresponds to a specific semester and/or course, it is indicated with an extension of the subscript, i.e.  $BD_{1,3Se_d} \mid d \in \{1, \dots, s\}$ .
4. The nomenclature presented in the previous item is generalized to any other concept for the purpose of clarifying the specific area encompassed.
5.  $BD = fields \cup data$
6.  $\{BD_{x,x} \cdot BD_{x,x,x}\} \subseteq BD_x \subseteq BD$
7. The  $\{VI \cdot VD\} \subseteq BD$
8. The *Independent variables of interest* ( $VI$ ) are the ones that provoke the greatest increase or decrease of  $BD_{1,3,d}$
9. The  $\{VI \cdot VD\} \subseteq BD$
10. For the purposes of this study, we state that a series of courses, different from previous courses and different among themselves, are taken by students every academic term. This assumption implies that students are following an established route in their professional formation. Students who fall under this assumption are candidates to belong to a  $Ge$ .

#### 3.2 Procedure 1

Identify independent variables of interest in the *first academic term*.

We state that,

$$Ge = \{stu\} \Rightarrow (\exists data \in stu) \cdot (stu \in \{CU_a \cdot Ca_b \cdot Se_d \cdot Cse_e\})$$

Where

$$a \in \{1, \dots, p\}; \forall b \in \{1, \dots, q\}; d = 1; \forall e \in \{1, \dots, t\}$$

$$\left. \begin{array}{l} Cse_e \subseteq Se_d \\ Cse_e \subseteq Ca_b \end{array} \right\} \subseteq CU_a$$

then

$$\forall CU_a$$

$$\forall Ge_c | c \in \{1, \dots, r\}$$

$$\forall Ca_b \in CU_a | b \in \{1, \dots, q\}$$

conduct a statistical analysis with

$$VI: BD_{1,1}, BD_{1,2}, BD_2$$

$$VD: BD_{1,3,Se_1}$$

to obtain the

$$VII \subset \{BD_{1,1}, BD_{1,2}, BD_2\}$$

$$VD \subset BD_{1,3,Se_1}$$

## Notes

- $Ge$ 's are student groups with associated data
- $Ge$ 's can be from different  $Ca$
- The  $BD_{1,3,Se_1}$  correspond to the average of the grades obtained in the courses taken by the  $Ge$  in the first  $Se$ . The analysis of this point will not be carried out for now.
- The statistical analysis could include the evaluation of the correlation index, although this description is outside the interest of the described *procedure*.

## Argumentation

The data used to obtain the  $VII$  for the first  $Se$  come from the *Academic History* and the *Psychological Test*; it is therefore not important, in this case only, to distinguish among degree programs for the formation of the  $Ge$ , Fig. 1. The  $VD$  is the average of the grades earned in all the courses taken. The  $Ge$  with students from different degree programs are called *Hybrid study groups* ( $Geh$ ). The effort to obtain the  $VII$  for the  $Se$  after the first one increases prohibitively if  $Geh$  are used. A more general *procedure 2* is proposed to deal with the inconvenience caused by the complexity of following up on the academic life of the members of the  $Ge$ . Obviously, the members of the  $Ge$  belong to the same  $Ca$ . It must

be added that the *Vli* of a *Ge*, made up of members of the same degree program, might not coincide with the *Vli* of a *Geh*. *Procedure 1* addresses the immediate need to identify the characteristics of a newly admitted student population, given the importance of the start of an undergraduate program for the actors involved in the teaching-learning process (institution, students, professors).

### 3.3 Procedure 2

Identifying *Vli* with a more general procedure. This procedure has some similar *procedure 1* steps that it is convenient shows again in order to be clear whit the description.

We state that,

$$Ge = \{stu\} \Rightarrow (\exists data \in stu) \cdot (stu \in \{CU_a \cdot Ca_b \cdot Se_d \cdot Cs_e\})$$

where

$$a \in \{1, \dots, p\}; b \in \{1, \dots, q\}; d = 1 \gg n; n \in \{1, \dots, s\}; \forall e \in \{1, \dots, t\}$$

$$\left. \begin{array}{l} Cs_e \subseteq Se_d \\ Cs_e \subseteq Ca_b \end{array} \right\} \subseteq CU_a$$

$\gg$  denoted that the previous value must exist

then

$$\forall CU_a$$

$$\forall Ca_b \in CU_a$$

$$\forall Ge_c | c \in \{1, \dots, r\}$$

$$\forall Cs_e \in (Se_d \cdot Ca_b) | e \in \{1, \dots, t\}$$

if  $d=1$  then

conduct statistical analysis with

$$VI: BD_{1,1}, BD_{1,2}, BD_2$$

$$VD: BD_{1,3,Se_1}$$

in order to obtain the

$$Vli \subset \{BD_{1,1}, BD_{1,2}, BD_2\}$$

$$VD \subset BD_{1,3,Se_1}$$

or else

conduct statistical analysis with

$$VI: BD_{3,Se_{d-1}}, BD_{1,3,Se_i} | i = d - 1, \dots, 1$$

$$VD: BD_{1,3,Se_d}$$

to obtain

$$Vli \subset BD_{3,se_{d-1}}, BD_{1,3,se_i} | i = d - 1, \dots, 1$$

$$VD \subset BD_{1,3,se_d}$$

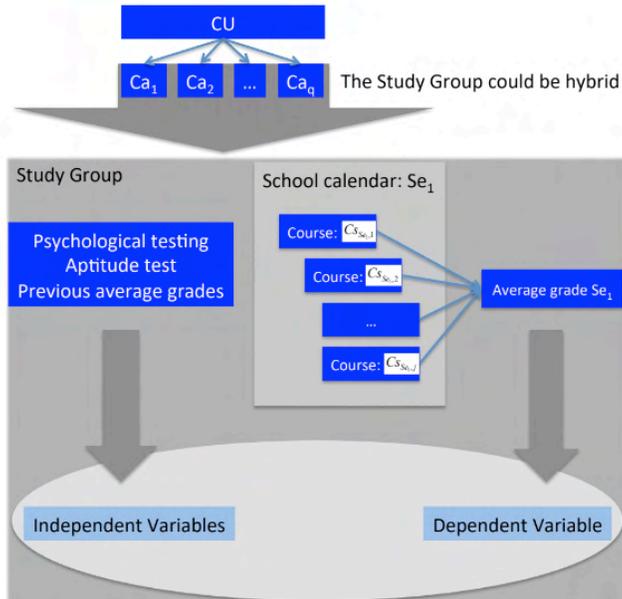


Figure 1. Process to obtain the  $Vli$  in the first academic term

## Notes

- The  $Ge$  are made up of students from the same degree program
- $Ge$  are groups of students with associated data
- The data of the  $Ge$  exist progressively, from their admission up to any academic term of their degree program
- The  $Ge$  are complete and consistent if there are data from their admission up to the last academic term of their degree program
- The selection of the  $Cs$  is determined by the existence of data of the  $Ge$  is said  $Cs$ .
- The  $BD_{1,3,d}$  correspond to the average of the grades obtained in the courses taken by the  $Ge$  in a  $Se_d$ . The analysis of this point will not be conducted for now.

## Argumentation

The process to obtain the  $Vli$  for the first  $Se$  is the same as the one shown in Fig. 1. Unlike *procedure 1*, here (*procedure 2*) the members of the  $Ge$  must come from the same

degree program, Fig. 2.

Fig. 3 shows the procedure for obtaining the  $Vli$  of  $Se$  subsequent to the first one. This figure suggests that on the basis of a course or courses of a particular  $Se$ , different from the first one, the attempt is made to predict the student's grade average for the following  $Se$ . For now, no analysis will be made of the advisability of taking one course or another in each  $Se$  to obtain the  $Vli$ . The  $Vli$  can be different for  $Ge$  of different  $Ca$ .

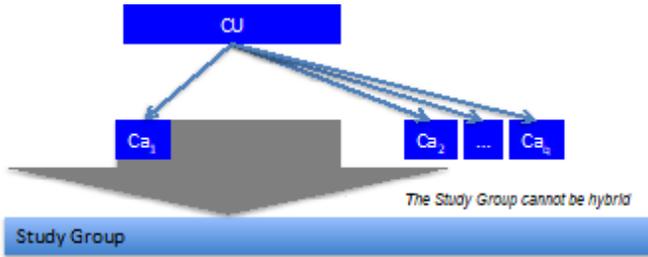


Figure 2. Note to obtain the  $Vli$  in the first academic term with *procedure 2*

#### 4 | PROCEDURE TO OBTAIN THE REPRESENTATIONS AND MODELS

A *scenario* ( $En$ ) involves the *dynamics and content* (event) of a student group in a course, and its analysis is done with data collected by the institution, which are seen as evidence of the event. It is acknowledged that the data are biased in the intention of describing these scenarios. For now, this point will not be discussed.

$$En_{Ge_c, Cs_e} | c \in \{1, \dots, r\}; e \in \{1, \dots, t\}$$

$$\{Vli_{Ge_c, Cs_e}, VD_{Ge_c, Se_d}\} \in En_{Ge_c, Cs_e} \Rightarrow Cs_{Se_d} \in Se_d | d \in \{1, \dots, s\}$$

$$En_{Ge_c, Se_d} = \{\forall En_{Ge_c, Cs_e}\}$$

The abstraction of the  $AP$  of a *study group*  $c$  in a given *academic term*  $d$  is called a *representation* ( $RP$ ),

$$RP_{Ge_c, Se_d} = f(En_{Ge_c, Se_d}) | c \in \{1, \dots, r\}; d \in \{1, \dots, s\}$$

#### Argumentation

To obtain the  $RP$  required to subsequently obtain a model, the members of the  $Ge$  must have consistent characteristics. This means that they must come from the same  $CU$ , the same  $Ca$ , the same  $Se$  (they do not necessarily have to belong to the same graduating class) and take the same  $Cs$  in each  $Se$ . The characteristics required for the  $Ge$  are inherited from the  $Vli$ , Fig. 4.

## Models

A *Model* ( $Mo$ ) is a general abstraction of the phenomenon and is obtained using an average operation of two or more *RP*.

$$Mo_{Se_d} = f(RP_{Ge_c, Se_d}) | c \in \{1, \dots, r\}; d \in \{1, \dots, s\}$$

$$Mo_{Se_d} = \frac{\sum RP_{Ge_c, Se_d}}{|RP_{Ge_c, Se_d}|}$$

$$MO = \{Mo_{Se_d}\}$$

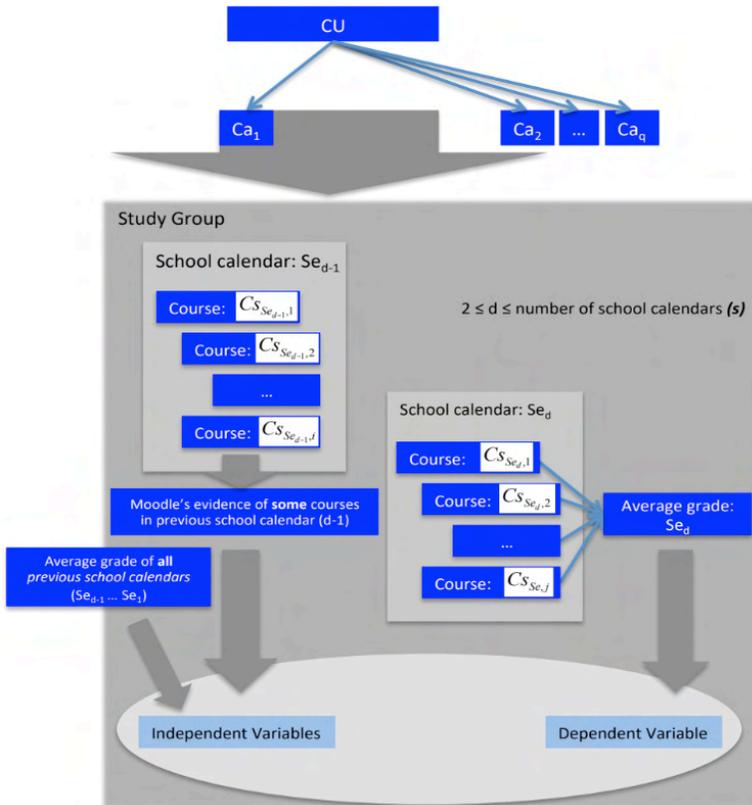


Figure 3. Process to obtain the *VI* in academic terms other than the first  $Se$

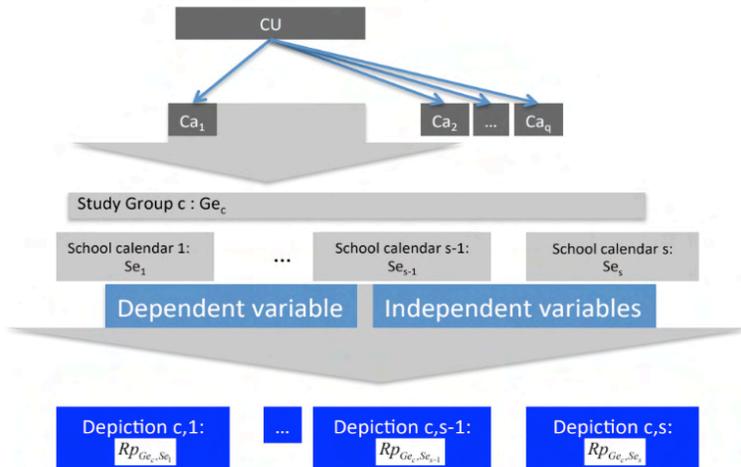


Figure 4. Depictions obtained in each academic term with one *Ge*

## Argumentation

A valid *Mo* requires an average operation with at least two *Rp*. The *Rp* must be from *Ge* with the same characteristics. In other words, they must belong to the same *CU*, the same *Ca*, and study in the same *Se* (relative time), meaning the *Ge* do not necessarily have to belong to the same graduating class (absolute time). A *Mo* can be obtained from a *Ge* in each *Se* of the degree program. It should be noted that in terms of construction, the models have a succession. The integration of the *Mo* for all the *Se* of the *Ca* yields a *general model* (MO) of the AP in that *Ca*, Fig. 5.

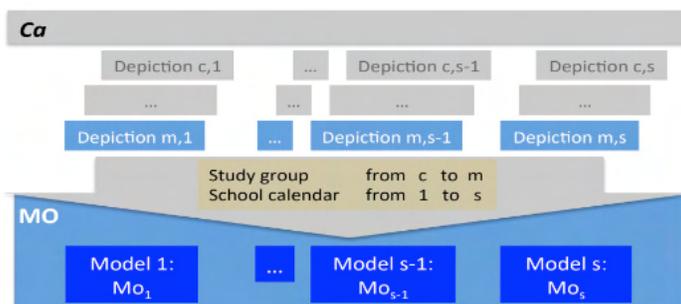


Figure 5. Models obtained in each academic term using depictions of different *Ge*

## 5 | DELIMITATION OF THE STUDY

- The study data come from one PU.
- The aim is that the courses of the *Ge* follow a single line of formation.

- The *Ge* must have course(s) consistent with each *Se* examined.
- The longitudinal study of the *Ge* must consider consecutive *Se* starting from the first, meaning that  $Se_n$  cannot be considered without having the analysis of  $Se_{n-1}$ .
- The aim is to predict the students' AP in their next academic term, which, except for the AP for the first academic term, involves the analysis of the available data from the *BD* of all the courses that the group has taken. In this analysis it is conceivable that only some of the *BD* fields have a strong correlation with the average.
- It is not advisable to predict AP in real time, since the academic dynamic of the PU does not lend itself to such a prediction. Real-time predictions would require uniform progress in course content and a study that could prove the reliability of the evidence collected in such programming.
- It is risky to predict a grade without analyzing an academic term, as it adds an element of uncertainty to the results and is beyond the scope of the present project.
- For the first *Se*, the members of the *Ge* can belong to different *Ca*. Since information is not processed in real time, it follows that it is not important to identify the *Cs* that the students of the *Ge* have taken.
- As of the second *Se*, some of the *Cs* taken by the students are exclusive to their area of study, which means that starting with this semester, the members of the *Ge* must belong to the same *Ca*. The data of all the *Cs* that students have taken in the first *Se* are processed and a study is made to identify which are directly correlated to the AP.
- As of the second *Se*, the average of the courses taken in the previous *Se* is calculated, as well as the *VD*, *VI*, the average of all previous *Se* and the fields of the *BD* that indicate a strong relationship with the average of the *Se* in question.
- The *Se* following the first are treated in the same way, Table 1.

<i>Ge</i>	$Se_1$	$Se_2$	...	$Se_{s-1}$	$Se_s$
<i>VI</i>	$VI_i \in \left\{ \begin{array}{l} BD_{1,1} \\ BD_{1,2} \\ BD_2 \end{array} \right\}$	$VI_i \in BD_{3,Se_1}$ $BD_{1,3,Se_1}$	...	$VI_i \in BD_{3,Se_{s-2}}$ $BD_{1,3,Se_{s-2}}$ $BD_{1,3,Se_{s-3}}$ ... $BD_{1,3,Se_1}$	$VI_i \in BD_{3,Se_{s-1}}$ $BD_{1,3,Se_{s-1}}$ $BD_{1,3,Se_{s-2}}$ ... $BD_{1,3,Se_1}$
<i>VD</i>	$BD_{1,3,Se_1}$	$BD_{1,3,Se_2}$	...	$BD_{1,3,Se_{s-1}}$	$BD_{1,3,Se_s}$
Data obtained	$BD_{3,Se_1}$	$BD_{3,Se_2}$	...	$BD_{3,Se_{s-1}}$	

Table 1. BD involved to obtain *VI* and *VD* in each scholar grade

## Development

Any particular *CU* has a number  $q$  of *Ca* that make up their program catalogue. Among these *Ca* we can find, for example, Administration, Economics, International Business, Information Systems, etc.

A meta description of the investigation procedure follows:

1. A *CUP* is selected
2. From any given *Ca* and students from the first *Se*, the following are formed:
  - 2.1. one *Ge*
  - 2.2. different *Ge*
3. From a particular *Ca* and students from the first *Se*, the following are formed:
  - 3.1. one *Ge*
  - 3.2. different *Ge*
4. From a particular *Ca* and students with an academic record that goes beyond the first *Se*, the following are formed:
  - 4.1. one *Ge*
  - 4.2. different *Ge*
5. From a particular *Ca* and students with an academic record that includes their whole academic history, the following are formed:
  - 5.1. one *Ge*
  - 5.2. different *Ge*
6. For different *Ca*, proceed to point 3
7. For different *CU*'s, proceed to point 1

Note: Some points can be omitted and/or modified in terms of order if the required data are available.

### Notes on the different stages

- Point 1 ties the study to a particular *CU*
- Point 2 is important because
  - Findings are obtained quickly
  - It is easier to have data from an unclassified population
  - It allows academic directors to make assertive decisions as students of a particular graduating class begin their academic formation
- Point 3 makes it possible to compare findings with those obtained in point 2

- Point 4 makes it possible to generate findings beyond the first *Se*, meaning the members of the *Ge* must belong to the same graduating class and *Ca*
- Point 5 makes it possible to complete the study of the academic life of a particular *Ca*
- Point 6 extends the study to different *Ca*
- Point 7 extends the study to different *CU*'s

## 6 | CONCLUSIONS

This article focuses on the area of education and addresses the problem of modeling the multifactorial phenomenon of AP. The process of analyzing and modeling AP is rigorously described using formalisms from computer science and mathematical symbols. The proposed technique suggests a need to expand on the research topic and/or strengthen the models. Due to the complexity involved in the study of education, the proposed technique could be applied without problems in the areas of economics, administration, politics and/or the social-sciences.

## REFERENCES

- Chatterjee, A., Shruti, R., Natekar, S., Rai, C., & Yeung, F. (2018, 09). USING LOGISTIC REGRESSION MODEL TO IDENTIFY STUDENT CHARACTERISTICS TO TAILOR GRADUATION INITIATIVES. (C. S. Journal, Ed.) *Revista de Formación e Innovación Educativa Universitaria*, 3(52), 172-181. Retrieved 06 06, 2019, from <https://www.questia.com/library/journal/1G1-559831820/using-logistic-regression-model-to-identify-student>
- Corengia, A., Pita, M., Mesurado, B., & Centeno, A. (2013, 01). Predicting academic performance and attrition in undergraduate students. (Scielo, Ed.) *Reunión de la Red SciELO*, 1(19), 101-112. Retrieved 06 10, 2019, from Liberabit: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_isoref&pid=S1729-48272013000100010&lng=es&tlng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_isoref&pid=S1729-48272013000100010&lng=es&tlng=en)
- Covington, K., & Covington, K. C. (2012). Student Perceptions of E-learning environments, Self-Regulated Learning, and Academic Performance. *Dissertation Abstracts International*, 1(1), 189. Recuperado el 10 de 06 de 2019, de <http://wdg.biblio.udg.mx:2048/login?url=https://search.proquest.com/docview/1238003187?accountid=28915>
- Escolar-Llamazares, M. C., Luis-Rico, I., de la Torre-Cruz, T., Herrero, A. J., Palmero-Cámara, C., & Jiménez-Egizábal, A. (2019, 02 27). The socio-educational, psychosocial and family-related antecedents of entrepreneurial intentions among Spanish youth. *11(5)*, 2-21. doi:<https://doi.org/10.3390/su11051252>
- Faramarzi, & Khafri, S. (2017, 06 5). Role of alexithymia, anxiety, and depression in predicting self-efficacy in academic students. (Hindawi, Ed.) *2017(s/n)*, 1-7. doi:<https://doi.org/10.1155/2017/5798372>
- Garton, B. L., Kitchel, T., & Ball, A. L. (2005, 01). University Admission Criteria and Learning Style: Predictors of Academic Success? *NACTA Journal; Twin Falls*, 49(2), 10-14. Retrieved 06 27, 2019, from <https://search.proquest.com/docview/214371912/citation/1CB4F2B3A004844PQ/1?accountid=28915>

González-Castolo, J. C., Ramos-Cabral, S., & Herández-Gallardo, S. C. (Enero-Junio de 2014). Construcción de un modelo difuso optimizado del aprovechamiento académico de estudiantes en educación superior. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 4(12), 13. Recuperado el 06 de 06 de 2019, de <https://pdfs.semanticscholar.org/a1c9/97ed40f26be392dfe4484ed5edaeaa3b172a.pdf>

La Red Martínez, D. L., Karanik, M., Giovaninni, M., & Pinto, N. (03 de 2015). Academic Performance Profiles: A Descriptive Model Based on Data Mining. *European Scientific Journal*, 11(9), 17-38. Recuperado el 10 de 06 de 2019, de <http://hdl.handle.net/123456789/1028>

Mclsaac, J.-L. D., Kirk, S. F., & Kuhle, S. (2015, 11 20). The Association between Health Behaviours and Academic Performance in Canadian Elementary School Students: A Cross-Sectional Study. (P. Tchounwou, Ed.) *Environmental Research and Public Health*, 12(11), 14857-14871. doi:<https://www.mdpi.com/1660-4601/12/11/14857>

Micari, M. W. (2016, 08 24). Among friends: the role of academic-preparedness diversity in individual performance within a small-group STEM learning environment. 38(12), 1904-1922. doi:<https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1218091>

Miñano, P., Castejón, J. L., Gilar Corbi, R., & Veas, A. (2017). The SAAS-R: A New Instrument to Assess the School Attitudes of Students With High and Low Academic Achievement in Spain. *Measurement and evaluation in counseling and development*, 20(1-2). doi:10.1080/07481756.2017.1325701

Nurhafizah, A., Ahmad, Z. U., Siti, A. M., Hasfazila, A., & Mohd, F. Z. (28 de 06 de 2018). The impact of class absenteeism on student's academic performance using regression models. 1974(1), 050012-1 - 050012-5. doi:<https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5041712>

Peled, Y., Yovav, E., Barzyck, C., & Grinaustkid, K. (2019, 04). Predictors of Academic Dishonesty among undergraduate students in online and face-to-face courses. *Computer & Education*, 131(S/n). doi:<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.012>

R. S., Y., A. K., S., & S., P. (05-14 de 10 de 2014). A study of academic performance evaluation using Fuzzy Logic techniques. *International Conference on Computing for Sustainable Global Development*, s/n(s/n), 48-53. doi:<http://10.1109/IndiaCom.2014.6828010>

Rogaten, J., & Moneta, G. B. (08 de 2017). Positive and Negative Structures and Processes Underlying Academic Performance: A Chained Mediation Model. *Journal of Happiness Studies*, 18(4), 1095-1119. doi:<https://doi.org/10.1007/s10902-016-9765-6>

Talib, N., & Sansgiry, S. S. (12). Determinants of Academic Performance of University Students. *Pakistan Journal of Psychological Research*, 27(2), 265-278. Recuperado el 12 de 06 de 2019, de <http://www.pjprnip.edu.pk/pjpr/index.php/pjpr/article/view/198/168>

Tarun, J. M. (03 de 2015). The impact of study groups and roommates on academic performance. 97(1), 44-54.

Tepper, R. J. (10 de 11 de 2017). Beyond ACT & GPA: self-efficacy as a non-cognitive predictor of academic success. *International Journal of Accountig & Information Management*, 26(1), 171-186. doi:<https://doi.org/10.1108/IJAIM-05-2017-0060>

Thompson, E., Bowling, B. V., & Markle, R. E. (2018, 02). Predicting Student Success in a Major's Introductory Biology Course via Logistic Regression Analysis of Scientific Reasoning Ability and Mathematics Scores. *Research in Science Education*, 48(1), 151-163. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11165-016-9563-5>

Valera, J. L., Sinha, S., Ponsot Balaguer, E., & Valera, J. (2009, 12). Valor pronóstico del k-ésimo período académico en el rendimiento de los alumnos de la FACES-ULA. *Redalyc.org*, 12(19), 133-146. Retrieved from UL <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=25715409011>

You, J. W. (2015, 07). Examining the Effect of Academic Procrastination on Achievement Using LMS Data in E-Learning. *Educational Technology & Society*, 18(3), 64-74. Retrieved 06 27, 2019, from [https://www.researchgate.net/publication/282318438\\_Examining\\_the\\_Effect\\_of\\_Academic\\_Procrastination\\_on\\_Achievement\\_Using\\_LMS\\_Data\\_in\\_e-Learning](https://www.researchgate.net/publication/282318438_Examining_the_Effect_of_Academic_Procrastination_on_Achievement_Using_LMS_Data_in_e-Learning)

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**AMANDA FERNANDES PEREIRA DA SILVA** - Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Santo Agostinho (UNIFSA), é Mestranda em Ciência e Engenharia dos Materiais pelo Programa de Pós-Graduação (PPGCM) da Universidade Federal do Piauí (UFPI). Atua na área de pesquisa Materiais Magnéticos, Semicondutores e Semicondutores Magnéticos Diluídos com aplicações antibacterianas sob orientação do Professor Doutor Ramón Raudel e Professora Doutora Francisca Araújo. Além disso, seus temas de interesse são: Construção Civil, Patologia das Construções, Materiais da Construção Civil, Perícia Judicial, Concreto, Análise do Comportamento de Solos, Ensino de Engenharia e Educação à Distância.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Academic performance 130, 142, 143  
Aceites esenciales 1, 2, 5, 7, 20, 21  
Acoplamiento molecular 1, 4, 11  
Activación alcalina 55  
Agua residual 110, 111, 115, 117, 120, 121

### C

Catalytic pyrolysis 24, 25, 26, 28, 30, 31, 32  
Chikungunya 1, 2, 3, 21, 22  
Coagulación 110, 119  
Compuestos cementosos 55  
Concreto 53, 55, 61, 105, 145  
Costos 80, 81, 82, 83, 117, 120, 121  
Cultivo celular 3, 5, 6

### E

Educational research 130  
Eficiencia 51, 80, 81, 87, 88, 89  
Electrocoagulación 110, 111, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 121, 122  
Estabilidad mecánica 92

### F

Floculación 110, 119  
Fundición 80, 81, 89, 90

### G

Género 37, 38, 39, 40, 42, 44, 46, 48, 49, 52  
Geología 62, 63, 64, 65, 67, 77, 79  
Geomorfología 62, 63, 64, 65, 66, 69, 77, 78, 79  
Geopolimerización 55, 56  
Geopolímeros 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61  
Grados de libertad 92, 94, 96, 100, 107, 108

## **I**

Instrumento MBI 37, 45

## **L**

Logistics models 123

## **M**

Materiales alternativos 53

Mejora 80, 81, 89, 90, 130

Mercurio 110, 111, 115, 116, 117, 121, 122

MIPYMES 37, 38, 39, 40, 41, 42, 45, 46, 48, 49, 51, 52

Morfodinámica 62, 71, 72, 73

Multivariate statistics 123

## **N**

Nivel de Burnout 37, 39, 40, 42, 44, 45, 46, 48, 49

## **P**

Performance improvement 123

Polymer 25, 26, 36

Polystyrene 24, 25, 26, 35, 36

Protocol formal description 130

## **R**

Recycling 24, 25, 36

Reducción 4, 5, 6, 13, 62, 74, 75, 80, 81, 84, 112, 118

Regression models 123, 127, 131, 143

Rio Sinú 62, 65, 66, 67, 77, 78, 79

Robot de rescate 92, 93, 94, 96, 100, 101, 106, 108

## **S**

Safety and Health Audits 123

Síndrome de Burnout 37, 39, 40, 42, 49

Sistemas mecánicos 92

Styrene 24, 25, 27, 30, 31, 35, 36

## **V**

Virus 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 11, 12, 13, 19, 20, 21, 22

## **W**

Waste 24, 25, 35, 36, 54

Workplace accidents 123, 129



Entre  
CIENCIA  
e  
INGENIERIA  
4

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

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

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

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



Entre

# CIENCIA

e

# INGENIERIA

# 4

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

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

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

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