

MEMORIAS DEL I SEMINARIO INTERNACIONAL



**TRANSFORMANDO
LA INGENIERÍA DE
MATERIALES**

**"AVANCES Y
APLICACIONES"**



Universidad Tecnológica del Chocó
Diego Luis Córdoba



MEMORIAS

I Seminario Internacional

Transformando la Ingeniería de Materiales

"Avances y Aplicaciones"



Universidad Tecnológica del Chocó
Diego Luis Córdoba

Quibdó, Colombia

15 y 16 de noviembre del 2023

2024



Memorias

I Seminario Internacional

Transformando la Ingeniería de Materiales
"Avances y Aplicaciones"



Universidad Tecnológica del Chocó
Diego Luis Córdoba

Organizadores:

Grupo de Investigación en Energías Renovables y Meteorología "GIERMET"
Universidad Tecnológica del Chocó.

Centro de Investigación en Energías Renovables y Climatología "CIERCLIMA"
Universidad Tecnológica del Chocó.

Vicerrectoría de Investigación
Universidad Tecnológica del Chocó.



Memorias

I Seminario Internacional

Transformando la Ingeniería de Materiales
"Avances y Aplicaciones"



Universidad Tecnológica del Chocó
Diego Luis Córdoba

Comité Organizador:

Edison Banguero Palacios

Director del Grupo de Investigación en Energías
Renovables y Meteorología "GIERMET"
Universidad Tecnológica del Chocó.

Nancy González Ramírez

Coordinadora del Semillero de Investigación en
Física Aplicada.
Universidad Tecnológica del Chocó.

Héctor David Agudelo Arias

Director del Proyecto "Desarrollo de Capacidades
Científicas para la Investigación de Procesos de
Deterioro de la Infraestructura en Sistemas de Energías
Renovables en el Departamento del Chocó".

Reiner Palomino Lemus

Director del Centro de Investigación en Energías
Renovables y Climatología "CIERCLIMA"
Universidad Tecnológica del Chocó.

Samir Córdoba Machado

Vicerrector de Investigación
Universidad Tecnológica del Chocó.

Alfaro Antonio Asprilla Aguilar

Coordinador Grupo de Gestión del Conocimiento
Universidad Tecnológica del Chocó.



Edison Banguero Palacios, Nancy González Ramírez, Héctor David Agudelo Arias, Reiner Palomino Lemus, Samir Córdoba Machado y Alfaro Antonio Asprilla Aguilar, Editores.

Memorias I Seminario Internacional Transformando la Ingeniería de Materiales “Avances y Aplicaciones”/ Edison Banguero Palacios, Nancy González Ramírez, Héctor David Agudelo Arias, Reiner Palomino Lemus, Samir Córdoba Machado y Alfaro Antonio Asprilla Aguilar (Ed.). Quibdó: Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba, Editorial UTCH, Grupo de Investigación en Energías Renovables y Meteorología “GIERMET” UTCH, Semillero de Investigación en Física Aplicada UTCH, Proyecto “Desarrollo de Capacidades Científicas para la Investigación de Procesos de Deterioro de la Infraestructura en Sistemas de Energías Renovables en el Departamento del Chocó”, Centro de Investigación en Energías Renovables y Climatología “CIERCLIMA” UTCH, Vicerrectoría de Investigación UTCH y Grupo de Gestión del Conocimiento UTCH, 2024. |

120 páginas; 21,5 x 28 cm.

Primera Edición, 2024

Periodicidad: Bienal

ISSN: 3028-4457 (En línea) | <https://viceinvestigacion.utch.edu.co/cartillas-y-memorias/>

©Autores	Alfaro Antonio Rentería Aguilar
©Universidad Tecnológica del Chocó -Editorial UTCH	Denis Alberto Castro Rodríguez Rafael Bechara Palacios Fredy Palacios Quejada
Rector UTCH	Alex Mauricio Jiménez Ortega
David Emilio Mosquera Valencia	Bertha Conto García Liliana Martínez Parra
Vicerrector de Investigación	José Faustín Mena Palacios
Samir Córdoba Machado	Jhon Fredy Asprilla Mosquera Jorge Eliecer Serna Agudelo
Editorial UTCH	Yessica Mercedes Ferrer Salcedo
Bloque 11 (Edificio de Investigaciones), Piso 4, Oficina 408	Aurelio Romaña Hinestroza Hamleth Valois Cuesta
Cra. 22 No 18B -10 B/ Nicolás Medrano-Ciudadela Universitaria	Coordinador Editorial Hamleth Valois Cuesta
Quibdó-Chocó, Colombia	Corrección de Estilo
Teléfono: 604 672 65 65 ext. 6020/6022	Daurin Rodríguez Mena
vice-investigacion@utch.edu.co	Diseño y Diagramación
editorial@utch.edu.co	Deyson Wilmer Mosquera Palomeque
viceinvestigacion.utch.edu.co/editorial	Impreso en Colombia, 2024
Comité Editorial	Editorial UTCH Ecobienestar SAS
Samir Córdoba Machado	
Ana Silvia Rentería Moreno	
Dorian Perea Palacios	

Las ideas y opiniones de este libro son responsabilidad exclusiva de los autores, quienes son igualmente responsables de las citas, referencias y de la originalidad de su obra. En consecuencia, la UTCH no responderá ante terceros por el contenido técnico o ideológico del texto, ni asume responsabilidad alguna por las infracciones a las normas de propiedad intelectual.

Agradecimientos

Al culminar este fructífero I Seminario Internacional “Transformando la Ingeniería de Materiales: Avances y Aplicaciones”, es un honor y un privilegio expresar los más sinceros agradecimientos a quienes han hecho posible este evento de gran envergadura y relevancia.

Se extiende la gratitud a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Tecnológica del Chocó, bajo la dirección del Dr. Samir Córdoba Machado. Su liderazgo visionario y compromiso incansable han sido fundamentales en la conceptualización, planificación y éxito de este seminario. Su apoyo no solo ha enriquecido el evento, sino que también ha reforzado el compromiso de la institución con la excelencia en investigación e innovación.

Un agradecimiento especial a Glasst Innovation Company, cuya colaboración y apoyo han sido cruciales para el éxito del seminario. Su participación y contribución han demostrado el poder de la colaboración entre el sector académico e industrial, y han abierto nuevas oportunidades para la aplicación práctica de los avances en la ingeniería de materiales.

No podemos dejar de mencionar a todos los distinguidos ponentes que, con su conocimiento, experiencia y pasión, han enriquecido cada sesión, debate y taller. Su participación ha sido la piedra angular de este seminario, proporcionando valiosas perspectivas y sapiencias que sin duda impulsarán futuras innovaciones en el campo.

Por último, pero no menos importante, se extiende los agradecimientos a todos los asistentes al evento. Su entusiasmo, interés y participación activa han sido fundamentales para el dinamismo y éxito del seminario. La diversidad de sus perspectivas y experiencias ha contribuido significativamente al intercambio de ideas y al enriquecimiento de las discusiones.

Este seminario ha sido un claro ejemplo de cómo la colaboración, intercambio de conocimientos y pasión por la innovación pueden unir a personas de distintos ámbitos y geografías en la búsqueda común de avances significativos en la ingeniería de materiales. Se espera que las relaciones y colaboraciones forjadas durante este evento continúen creciendo y contribuyan significativamente al avance de nuestra sociedad.

Una vez más, gracias a todos los que han participado y apoyado este seminario. Su dedicación y esfuerzo han marcado la diferencia y sentado las bases para futuros éxitos.

Contenido

1. Presentación	13
2. Introducción	15
3. Objetivos del Seminario.....	17
4. Desarrollo del Evento	18
5. Impacto y Perspectivas Futuras	18
6. Desarrollo de un sistema de protección del secreto industrial que permita el escalamiento a nivel global (modelo Black Box).....	19
6.1 Conclusiones	32
6.2 Bibliografía	33
7. Desarrollo de desmoldante de alto desempeño a partir de fuentes naturales sostenibles para prefabricados en concreto	34
7.1 Conclusiones	45
8. Diseño y caracterización de nuevos materiales heteroestructurados como cátodos en baterías de ion-Li.....	47
8.1 Resumen.....	47
8.2 Introducción	48
8.3 Metodología	49
8.4 Resultados	49
8.5 Referencias.....	51
9. Óxidos de perovskita como electrolitos sólidos de alto rendimiento para batería ion litio	53
9.1 Resumen.....	53
9.2 Introducción	54
9.3 Metodología	55
9.4 Resultados	55
9.5 Referencias.....	57
10. Materiales de cátodo tipo capa ricos en litio de alto rendimiento electroquímico para baterías de ion litio.....	58
10.1 Resumen.....	58
10.2 Introducción	59
10.3 Metodología	59
10.4 Resultados	60
10.5 Referencias.....	62
11. Variabilidad espacio-temporal de índices extremos de precipitación en Centro-América (Nicaragua)	65
11.1 Resumen.....	65
11.2 Introducción	66
11.3 Metodología	66
11.4 Resultados	67
11.5 Referencias.....	68
12. Desarrollo de recubrimientos para mitigar los efectos abrasivos de las partículas suspendidas en el agua en la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables de turbinas hidráulicas.....	70
12.1 Resumen.....	70
12.2 Metodología	71
12.3 Resultados	71
12.4 Referencias.....	72
13. Estudio de viabilidad técnica y económica de generación de hidrógeno verde en el Chocó.....	73
13.1 Resumen	73
13.2 Introducción	73
13.3 Metodología	74



13.4 Resultados	75
13.5 Referencias.....	77
14. Los semilleros de investigación en los procesos de formación	79
14.1 Resumen.....	79
14.2 Los semilleros de investigación y su rol en los procesos de formación	79
14.3 Iniciación en la investigación.....	80
14.4 Desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y análisis	80
14.5 Fomento de la curiosidad y la innovación	80
14.6 Experiencia práctica y aplicada	81
14.7 Colaboración y trabajo en equipo	81
14.8 Red de contactos profesionales.....	81
14.9 Algunos proyectos exitosos de los semilleros de investigación en Colombia	81
14.10 Semillero de Investigación en Física Aplicada	82
14.11 Referencias.....	84
15. Evaluación de los índices climáticos de precipitaciones extremas en la temporada seca de DEF en Colombia	86
15.1 Resumen.....	86
15.2 Introducción	86
15.3 Metodología	88
15.3.1 Descripción del área de estudio	88
15.3.2 Datos de precipitación.....	88
15.3.3 Índices extremos de precipitación.....	88
15.3.4 Análisis de datos	89
15.4 Resultados	89
15.4.1 Distribución espacial de los campos medios para los índices extremos de precipitación durante la temporada seca de DEF para el período 1982-2015 en Colombia.....	89
15.4.2 Distribución espacial de las tendencias de los índices extremos de precipitación en Colombia durante la temporada seca de DEF para el período 1982-2015	90
15.5 Referencias.....	92
16. Análisis de consumo de energía eléctrica del alumbrado público en las calles del municipio de Quibdó.....	93
16.1 Resumen.....	93
16.2 Introducción	94
16.3 Metodología	95
16.4 Resultados	95
16.5 Referencias.....	97
17. Análisis de sistemas de e-commerce para Incrementar la visibilidad y promoción de restaurantes en Quibdó.....	98
17.1 Resumen.....	98
17.2 Introducción	99
17.3 Metodología	100
I. Revisión de fuentes en línea	100
II. Estudio en línea	100
III. Encuestas.....	100
17.4 Resultados	101
17.5 Referencias.....	102
18. Análisis de optimización de un sistema de gestión de inventario mediante la metodología lean six sigma para pymes farmacéuticas en Quibdó	103
18.1. Resumen.....	103
18.2. Introducción	104
18.3. Metodología	104
18.4. Resultados	105
18.5. Referencias	105



19. Estimación de la precipitación en alta resolución en Colombia a partir de un modelo de Downscaling estadístico.....	106
19.1 Resumen.....	106
19.2 Introducción.....	106
19.3 Metodología.....	107
19.4 Resultados.....	108
19.4.1 Modos de Variabilidad de la SLP.....	109
19.4.2 Relación entre SLP y Precipitación.....	111
19.4.3 Validación del Modelo de Downscaling.....	113
19.5 Referencias.....	115
20. Conclusiones Generales del I Seminario Internacional Transformando la Ingeniería de Materiales “Avances y Aplicaciones”.....	117

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema del modelo de negocio de GLASST.....	20
Figura 2. Mecanismos de protección de la Propiedad Intelectual.....	21
Figura 3. Árbol de Problemas.....	22
Figura 4. Producto a partir de la tecnología Glasstommer®.....	23
Figura 5. Evaluación de la estabilidad del protector a 37 °C.....	25
Figura 6. Evaluación de estabilidad del protector a temperatura ambiente.....	25
Figura 7. Modelo de trabajo con el Black Box.....	26
Figura 8. Familia de productos a partir de la tecnología Glasstmould®.....	27
Figura 9. Evaluación de la estabilidad a temperatura ambiente (25°C).....	28
Figura 10. Evaluación de la estabilidad a 37 °C.....	28
Figura 11. Evaluación de la estabilidad Black Box aceite emulsionable a 50 °C.....	30
Figura 12. Evaluación de la estabilidad de más emulsiones a 37°C y 50°C.....	31
Figura 13. Evaluación de desempeño aceite emulsionado.....	31
Figura 14. Diferentes tipos de formaletas o moldes.....	34
Figura 15. Diferentes acabados del concreto.....	34
Figura 16. Piezas prefabricadas de concreto.....	35
Figura 17. Posibles soluciones de desmoldantes para prefabricados.....	36
Figura 18. Tipos de Emulsiones.....	38
Figura 19. Características deseables del desmoldante para prefabricados.....	39
Figura 20. Proceso de preparación de la emulsión.....	40
Figura 21. Emulsiones preparadas.....	41
Figura 22. Separación de fases, después de 24h a 37°C.....	42
Figura 23. Pruebas de desempeño.....	43
Figura 24. Izquierda: Desencofrado en formaleta metálica. Derecha: Desencofrado en formaleta fenólica.....	44
Figura 25. Capacidad específica de descarga de los materiales activos ciclado a 28.2 mAg-1 (0.1 C-rate) entre 4.9 y 2 V E vs. Li/Li+/V.....	50
Figura 26. Patrones de difracción de Rayos X para electrolitos sólidos tipo perovskita $\text{Li}_{0.3}\text{La}_{0.57}\text{Ti}_{1-x}\text{V}_x\text{O}_3$ ($x=0 - 0.05$), obtenido por el método síntesis de co-precipitación.....	56
Figura 27. Morfología de electrolitos sólidos tipo perovskita obtenido por método de co-precipitación.....	57
Figura 28. Mapa de densidad de visualización de las palabras claves de alta frecuencia, 2017-2023.....	60



Figura 29. a) Espectro Raman de la estructura tipo capa de $\text{Li}_2\text{Mn}_{1.5}\text{Ni}_{0.3}\text{O}_2$ sintetizadas por el método de coprecipitación a 800 °C durante 12 h. b) Se muestra el perfil de la primera carga-descarga realizados a 0.1C a 20 °C (1C = 200 mAh g ⁻¹).....	62
Figura 30. Distribución temporal de cinco eventos de precipitación en cuatro pluviómetros ubicados en el Pacífico, Centro y Atlántico de Nicaragua para el período comprendido entre 1982 y 2020, según disponibilidad de datos. La línea roja representa los datos del GPCC.	67
Figura 31. Potencial de energía renovable en Chocó. Fuente: Elaboración propia.	75
Figura 32. Esquema de producción de hidrógeno para cocinar.....	77
Figura 33. Jornadas de apropiación social del conocimiento.	83
Figura 34. Participación en el IV encuentro departamental de semilleros de investigación, nodo Chocó.	84
Figura 35. Distribución espacial de los campos medios para los índices extremos de precipitación R10, R20, CDD, CWD, SDII y RX5day durante la temporada seca de DEF para el período 1982-2015 en Colombia.....	90
Figura 36. Distribución espacial de las tendencias de los índices extremos de precipitación R10, R20, CDD, CWD, SDII y RX5day para la estación DEF en el período 1982-2015 en Colombia.	91
Figura 37. Consumo total anual.....	95
Figura 38. Promedio por consumo anual.....	96
Figura 39. Patrones espaciales de los primeros 10 modos de variabilidad de la SLP en Colombia para las estaciones de MAM y SON durante el período comprendido entre 1950-1993.	110
Figura 40. Patrones de correlación entre las precipitaciones de SON Y MAM en Colombia y los 10 PCs líderes de SLP. Regiones significativas con un nivel de confianza del 95%.....	112
Figura 41. Distribución espacial de la precipitación estacional (mm) simulada y observada durante el período de calibración (1950-1993) y validación (1994-2015) en Colombia.....	114
Figura 42. Distribución espacial del porcentaje de RMSE entre los valores estacionales de precipitación durante los períodos de calibración (1950-1993) y validación (1994-2010) en Colombia.	115

Lista de Tablas

Tabla 1. Caracterización del Black Box para Glasstommer®	24
Tabla 2. Fórmula descriptiva aceite emulsionable.....	29
Tabla 3. Formulación general de las emulsiones formadas.	39
Tabla 4. Caracterización de las emulsiones preparadas.	41
Tabla 5. Incorporación de aditivos acelerantes para concreto (F5) (al 1% de la fase oleosa).	44
Tabla 6. Materiales de cátodo para baterías de ion más comunes en la literatura	61
Tabla 7. Presencia en línea de restaurantes formales en Quibdó.....	101
Tabla 8. Resultados obtenidos desde la etapa inicial hasta la etapa final de la investigación.....	105



1. Presentación

La Universidad Tecnológica del Chocó, “Diego Luis Córdoba” UTCH, conocida por su compromiso con la innovación y el desarrollo tecnológico, fue anfitriona del prestigioso I Seminario Internacional “Transformando la Ingeniería de Materiales: Avances y Aplicaciones”. Evento de gran envergadura que reunió a expertos, académicos, investigadores y profesionales del ámbito de la ingeniería de materiales, con el fin de intercambiar conocimientos, experiencias, explorar y debatir los últimos avances y aplicaciones de este campo vital; enriqueciendo el ámbito académico y profesional de los participantes, además de fomentar la colaboración y desarrollo de nuevas ideas y proyectos

La elección de la Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luis Córdoba” UTCH como sede de este importante evento no es casual, ya que la institución se ha destacado por su papel activo en la promoción de la investigación e innovación en la ingeniería de materiales de la región.



2. Introducción

La Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luis Córdoba” UTCH, reconocida por su dedicación en el avance de la ciencia y la tecnología, se consolidó una vez más como líder en el campo de la ingeniería, al ser la anfitriona del I Seminario Internacional “Transformando la Ingeniería de Materiales: Avances y Aplicaciones”. Este evento de renombre internacional no solo destacó por su envergadura, sino también por su capacidad de reunir a una diversidad de expertos, académicos, investigadores y profesionales dedicados a la innovación y desarrollo en la ingeniería de materiales.

El seminario tuvo lugar en un contexto donde la necesidad de materiales avanzados se hace cada vez más crítica frente a desafíos globales como el cambio climático, la sostenibilidad y la revolución tecnológica que atraviesan industrias desde la construcción hasta la biomedicina y la energía renovable. Este evento proporcionó información para explorar las últimas investigaciones, desarrollos y aplicaciones prácticas en el campo, marcando un hito importante en la colaboración entre la academia y la industria. Los avances en este campo tienen el potencial de revolucionar la forma en que vivimos y trabajamos, aportando soluciones sostenibles y eficientes a los desafíos globales. En este contexto, el seminario ha proporcionado información para discutir los más recientes y emergentes desarrollos en la ciencia de materiales.

Al ofrecer una agenda compuesta por conferencias magistrales, paneles de discusión y talleres interactivos, el seminario no solo fue un foro para el intercambio de conocimiento, sino también una oportunidad para fomentar redes de colaboración a largo plazo que podrían traducirse en avances significativos para diversos sectores. Este tipo de interacción entre diferentes disciplinas y perspectivas promueve un enfoque más integrado y multifacético para abordar los problemas más complejos de nuestra sociedad.



3. Objetivos del Seminario

- ✓ Fomentar el diálogo, explorar y compartir avances en investigación y desarrollo en el campo de la Ingeniería de materiales.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Proporcionar un foro para la discusión de aplicaciones prácticas y el impacto de estos avances en diversas industrias.
- Facilitar la colaboración y el intercambio de ideas entre investigadores, académicos y profesionales.
- Identificar y abordar los retos y oportunidades en la implementación de nuevas tecnologías en materiales.
- Promover la integración de enfoques sostenibles y responsables en la ingeniería de materiales.



4. Desarrollo del Evento

A lo largo del seminario, se llevaron a cabo diversas acciones, incluyendo conferencias magistrales, sesiones de presentación de trabajos de investigación y talleres. Estas actividades permitieron a los participantes obtener una visión integral de los avances actuales en la ingeniería de materiales y sus aplicaciones prácticas.

5. Impacto y Perspectivas Futuras

El seminario no solo ha contribuido al fortalecimiento del conocimiento y las habilidades de los participantes, sino que también ha generado una serie de colaboraciones y proyectos que prometen impulsar futuros avances en el campo. La Universidad Tecnológica del Chocó, al ser anfitriona de este evento, reafirma su posición como centro de excelencia y referente en la investigación y educación en ingeniería de materiales.



6. Desarrollo de un sistema de protección del secreto industrial que permita el escalamiento a nivel global (modelo Black Box)

Alexander Hernández; Catalina Álvarez Ramírez

Glasst Innovation Company

Para entender la necesidad de desarrollar un proyecto alrededor de la protección de los secretos industriales, es necesario inicialmente conocer quién es GLASST y cuál es su modelo de Negocio.

GLASST INNVATION COMPANY es una Start-Up enfocada en el desarrollo y comercialización de materiales y soluciones sostenibles para la industria de la construcción. El modelo de negocio de GLASST tiene características únicas en sí mismo, se encuentra basado en la innovación y el desarrollo sin inversión en fábricas (libre de CAPEX), en donde las operaciones de producción y envasado se hacen aprovechando capacidades no utilizadas de empresas reconocidas, las cuales se denominan aliados estratégicos, tal como puede apreciarse de manera gráfica en la Figura 1.



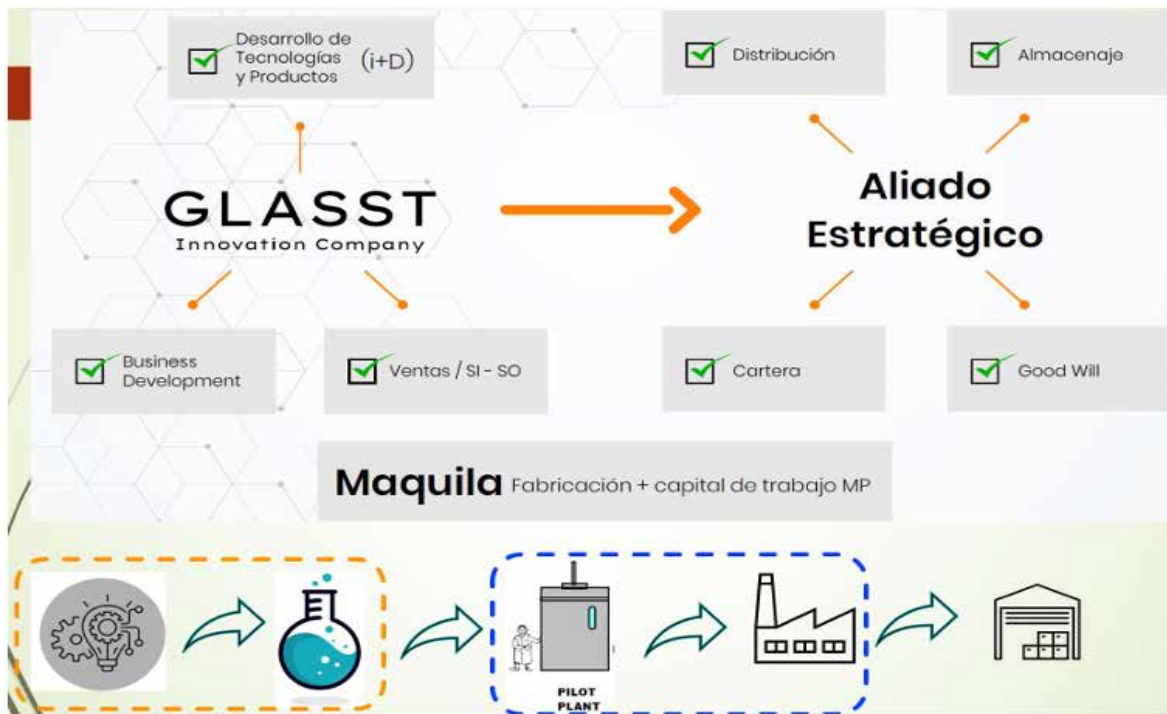


Figura 1. Esquema del modelo de negocio de GLASST.

Modelo que prioriza la focalización de los recursos e inversiones en el área de Investigación y Desarrollo de los nuevos materiales, así como el acompañamiento en los procesos de escalamiento con los aliados estratégicos.

Este modelo permite minimizar los riesgos asociados a la inversión en activos que exigen volúmenes determinados para diluir los costos de operación y mantenimiento necesarios para lograr el punto de equilibrio; a su vez facilita y potencializa el poder crecer y optimizar los procesos productivos y logísticos en cualquier parte del mundo, fabricando productos en diferentes plantas con las capacidades técnicas adecuadas. A su vez el modelo plantea grandes retos asociados a la protección de la propiedad intelectual y know how de la compañía, al tener que trasladar sus formulaciones y procedimientos de operación a diferentes compañías, que, a pesar de contemplar modelos y contratos de confidencialidad, expone de manera sensible el conocimiento que ha desarrollado la compañía sobre los materiales y productos fabricados. Si bien existen muchas formas de proteger la propiedad intelectual, tal como se aprecia en la Figura 2.



Figura 2. Mecanismos de protección de la Propiedad Intelectual.

No todos los mecanismos descritos se pueden aplicar para todos los casos, y aunque GLASST complementa estos mecanismos con los Aliados estratégicos mediante contratos de confidencialidad, contratos que prohíben la ingeniería inversa, entre otros; cada tecnología que se desarrolla pasa por un proceso de análisis para establecer cuál sería el mecanismo más idóneo para su protección.

En este orden de ideas GLASST cuenta con patente de invención para la tecnología GLASSTOMMER® [1] [2]; mientras para GLASSMOULD® se hace uso del secreto comercial, debido a que para esta tecnología no se identificó en su momento la altura inventiva que permitiera su patentamiento.

Las marcas como identidad del producto comercializado se registran y protegen, complementando el portafolio de PI de GLASST. Sin embargo, dado el modelo de GLASST en el cual la fabricación es tercerizada, estos mecanismos deben fortalecerse, por lo tanto, se hace necesario desarrollar metodologías que han demostrado ser eficaces para la producción de un producto en diferentes plantas en el mundo y a su vez, son lo suficientemente robustas como para mantener a salvo la propiedad intelectual y el know how que contiene las formulaciones y métodos de fabricación de los diferentes productos desarrollados por GLASST.

La mejor forma de describir el problema es mediante el denominado árbol de problemas como se aprecia de manera gráfica en la Figura 3.





Figura 3. Árbol de Problemas.

Existen numerosos ejemplos de casos éxito en el mundo donde muestran que la metodología de separar y concentrar los ingredientes claves de una formulación y manejarlos bajo estricto secreto industrial de manera separada de las empresas fabricantes o maquiladores, modelo conocido como “Black Box”, el cual permite proteger de manera efectiva una formulación o compuesto; este modelo es ampliamente utilizado en la industria de los alimentos, p.ej. Coca-Cola, KFC, QUAKER, entre otros.

Para el caso de Coca-Cola, la formulación solo es conocida por pocas personas y el concentrado es producido en algunas plantas, luego es distribuido a todas las embotelladoras alrededor del mundo, para la elaboración del refresco agregando solo agua carbonatada y endulzantes. De este modo, Coca-Cola ha protegido con éxito su formulación por más de 100 años, demostrando la efectividad del método Black Box.

En el caso particular de los productos de GLASST, el enfoque del desarrollo de un sistema tipo “Black Box” se enfocará en dos de sus tecnologías:

1. GLASSTOMMER®: tecnología para la fabricación de películas y recubrimientos temporales a base de resinas naturales
2. GLASSTMOULD®: tecnología para la fabricación de desmoldantes en emulsión para la industria de la construcción.

Para el crecimiento proyectado de la compañía se requiere desarrollar sistemas de protección de las formulaciones y procesos de fabricación debido a que un crecimiento exponencial necesita a su vez de múltiples aliados ubicados en diferentes ciudades o países.

Dada estas características, el proyecto trata de una innovación de proceso, que generará

nuevos productos y permitirá mejorar la capacidad de producción y escalamiento de los actuales. Los resultados se detallan a continuación:

1. Para la tecnología Glasstommer®: tecnología que se basa en formulaciones a base de látex de caucho natural modificado químicamente en la generación de productos líquidos y estables usados para recubrir, proteger y/o decorar superficies. Un producto a partir de esta tecnología corresponde al protector universal de superficies como se aprecia en la Figura 4.



Figura 4. Producto a partir de la tecnología Glasstommer®



El proceso de desarrollo del Black Box inicia con la documentación tanto de las materias primas involucradas como sus diferentes etapas. En el caso del protector universal intervienen en total 21 materias primas y el proceso se divide en tres etapas:

- Etapa 1: modificación de la resina: intervienen nueve materias primas.
- Etapa 2: aditivación: intervienen 10 materias primas.
- Etapa 3: finalización: intervienen dos Materias Primas.

Los criterios para la adecuada selección de las materias o componentes para el Black Box son:

- a) Seleccionar los componentes más críticos en la formulación.
- b) Que los componentes se agreguen en la misma etapa.
- c) Identificar si provienen de uno o más proveedores.
- d) Definir concentraciones y cantidades.
- e) Determinar la estabilidad una vez estén en un sistema "Black Box".
- f) Determinar quién elaborará el Black Box.
- g) Validar Black Box vs forma tradicional.

Para el caso de la tecnología GLASSTOMMER®, se seleccionaron de manera estratégica los cuatro agentes catalizadores y de reticulación que modifican químicamente la resina y definen en gran medida las propiedades del producto terminado. La ventaja de dicha selección radica en que: todos provienen del mismo proveedor y se aplican en la misma etapa del proceso. Por lo tanto, se realizó la mezcla interna del Black Box y en paralelo se solicitó al proveedor realizar una mezcla a la medida que mantuviera las mismas proporciones que la mezcla de los ingredientes activos individuales, caracterizando sus propiedades fisicoquímicas, así como las de desempeño (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización del Black Box para Glasstommer®

Propiedad Medida	Black Box	Estándar
pH	9,8	10,4
% Sólido en Peso	59,30%	59,60%
Viscosidad cP	314	730
Densidad kg/gal	5,26	4,23
% Hinchamiento 24 h (Protector)	90,7	87,7
% Hinchamiento 15d (Protector)	87	86

La estabilidad del protector se evaluó de manera comparativa a 37°C y temperatura ambiente (Figuras 5 y 6).



Figura 5. Evaluación de la estabilidad del protector a 37 °C.

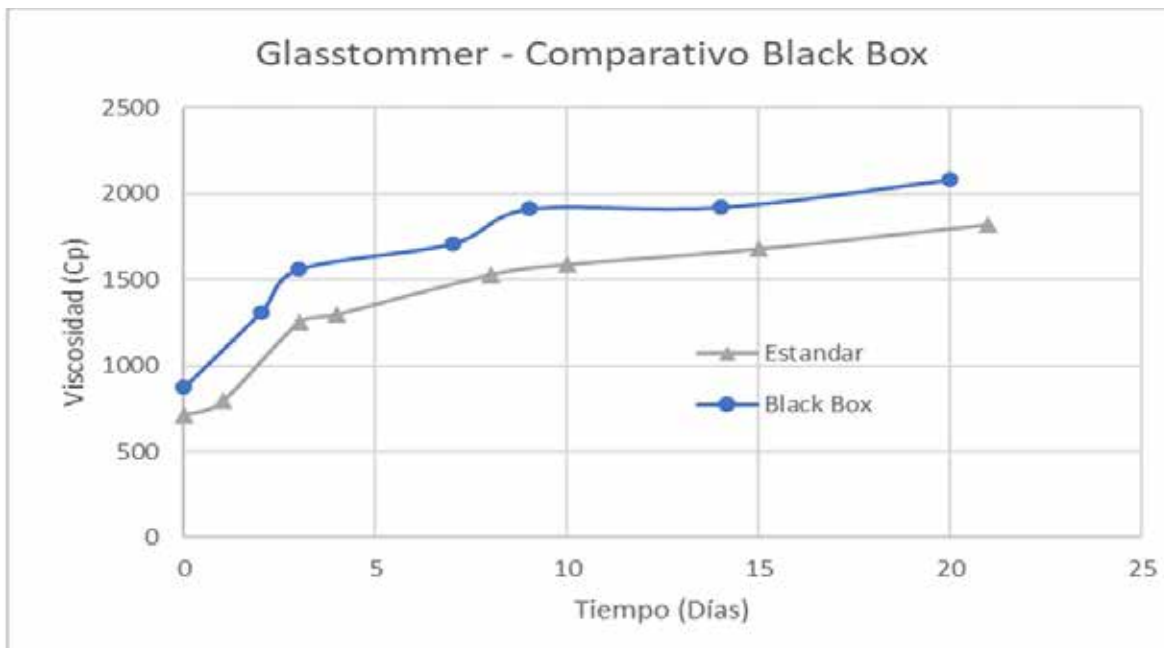
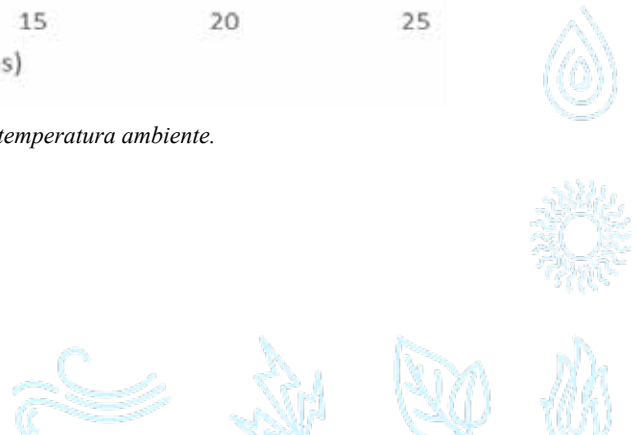


Figura 6. Evaluación de estabilidad del protector a temperatura ambiente.



Los resultados muestran que el Black Box fabricado por el proveedor comparado con la forma tradicional de fabricación, arrojan un desempeño equivalente en propiedades, así como estables en el tiempo a diferentes condiciones.

Este proceso generó la creación de una nueva referencia exclusiva para GLASST por parte del fabricante de los catalizadores, modelo que se aprecia gráficamente en la Figura 7.



Figura 7. Modelo de trabajo con el Black Box.

2. Para la tecnología Glasstmould®: tecnología basada en fabricación de emulsiones (W/O – O/W) como agentes desmoldantes para la industria del concreto. De esta tecnología se derivan cuatro productos con características físicas y desempeños diferentes (Figura 8).



Alto desempeño

SUPREME
Para ambientes extremos

PRIME
Excelente Desempeño

Ideal para usar en ambientes de lluvia y sol constante, garantizando tiempos amplios de exposición a la intemperie.

Ideal para usar en ambientes con lluvia y sol de tiempos intermedios de exposición a la intemperie.

Mayor rendimiento

MAX
Lista para Usar

3X1
Alto Rendimiento

Ideal para usar en formaletas de ciclos cortos de encofrado, es un producto líquido listo para usar de alto rendimiento.

Ideal para usar en formaletas de ciclos cortos de encofrado, es un producto alto rendimiento.

Emulsiones W/O
Alta viscosidad (4000 – 6000 cP) ,
Hidrofóbicas
Componentes comunes en su formulación

Emulsión O/W
Baja viscosidad (5 – 100 cP)
Hidrofilicas

Aceite Emulsionable
Baja viscosidad (5 – 100 cP)
Hidrofilicas

Figura 8. Familia de productos a partir de la tecnología Glasstmould®.

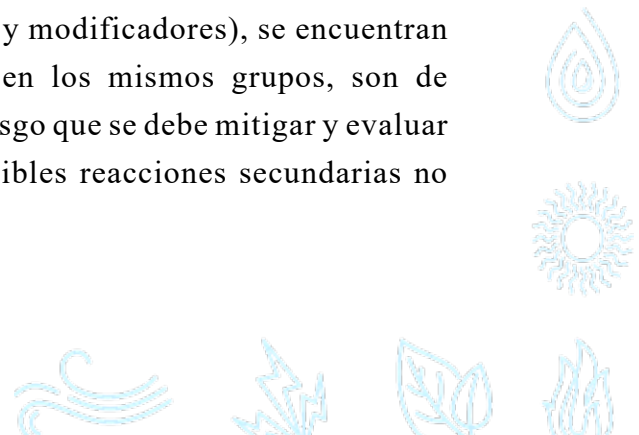
En este caso el nivel de complejidad es superior, dado que son dos grupos de productos diferentes por el tipo de emulsión que se forma; por lo tanto, las materias primas no son completamente comunes entre sí.

Para esto se segmenta en dos la forma de abordar el problema. Primero para las emulsiones W/O (Supreme y Prime) emulsiones de alta viscosidad e hidrofóbicas. Segundo, se considera otro segmento enfocado en el aceite emulsionable puro (3x1) a partir del cual, se deriva la mezcla lista para usar (MAX).

En el caso de las emulsiones W/O de alta viscosidad intervienen en total nueve materias primas y el proceso se divide en tres etapas:

- Etapa 1: fabricación intermedia 1: intervienen cuatro materias primas.
- Etapa 2: fabricación intermedia 2: intervienen dos materias primas.
- Etapa 3: fabricación intermedia 3: intervienen tres materias primas.

En este caso las materias primas clave (tensoactivos y modificadores), se encuentran en diferentes etapas del proceso y las que están en los mismos grupos, son de naturaleza química muy diferentes; por lo tanto, el riesgo que se debe mitigar y evaluar corresponde a las incompatibilidades químicas, posibles reacciones secundarias no previstas o inestabilidades.



Las diferentes premezclas, se evaluaron en su estabilidad tanto a 25°C como a 37°C (Figuras 9 y 10).



Figura 9. Evaluación de la estabilidad a temperatura ambiente (25°C).

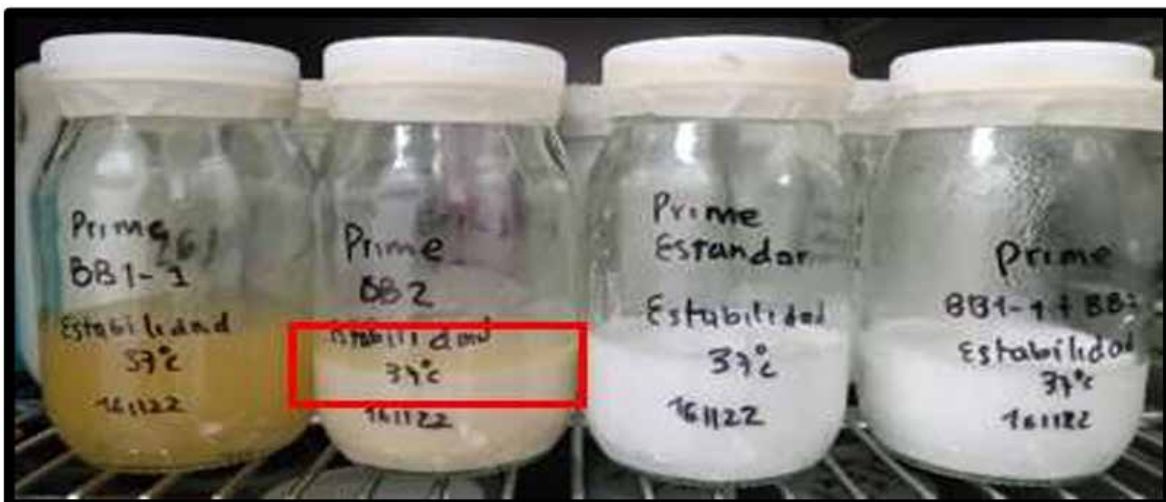


Figura 10. Evaluación de la estabilidad a 37°C.

De las pruebas evaluadas se encontraron varias con problemas de incompatibilidad, descartando su implementación para esta familia de emulsiones. En el caso del aceite emulsionable de baja viscosidad (3x1) que forma emulsiones O/W, intervienen en total seis materias primas, su formulación descriptiva se muestra en la Tabla 2. Adicionalmente, el proceso se divide en solo dos etapas; y de este se deriva la mezcla lista para usar ya emulsionada (MAX) haciendo que tenga más sentido un Black Box para esta referencia.



Tabla 2. Fórmula descriptiva aceite emulsionable.

Descripción	%	Proveedor
Aceite	80 – 90	A
Aditivo Surfactante 1	2 - 5	B
Aditivo Tensoactivo 1	1 – 5	C
Aditivo Tensoactivo 2	1 – 5	D
Modificador	1 – 3	E
Otros	<1	F

De estos elementos se toman como los más probables para integrar el Black Box la mezcla de surfactantes con el modificador, evaluando su estabilidad a condiciones extremas de 50°C como se aprecia en la Figura 11.



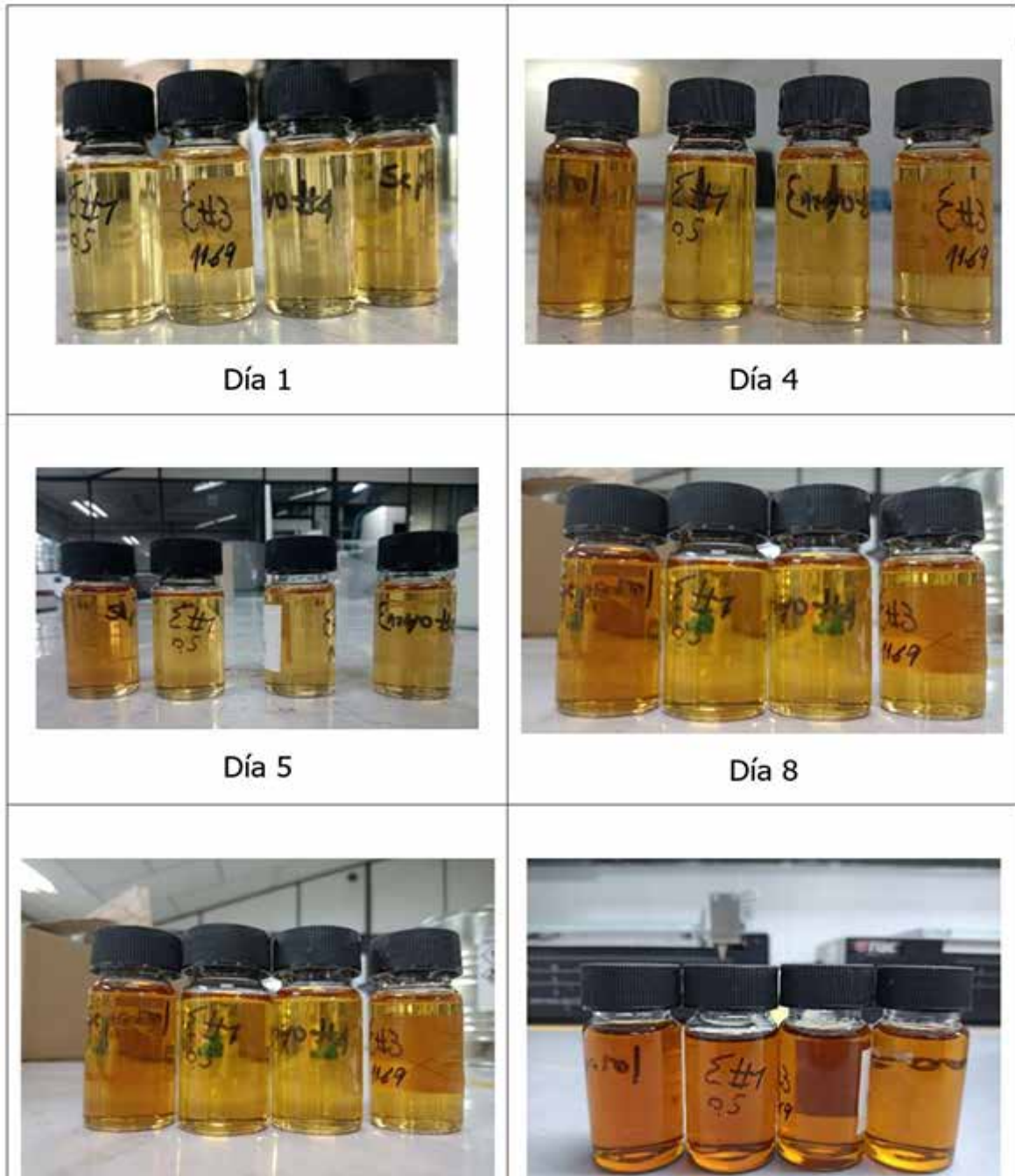


Figura 11. Evaluación de la estabilidad Black Box aceite emulsionable a 50 °C.



Se fabricó igualmente una emulsión, evaluando la estabilidad a condiciones extremas de 37 y 50°C (Figura 12).

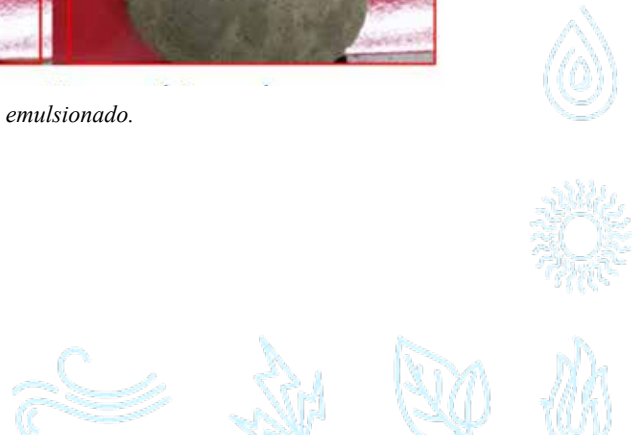


Figura 12. Evaluación de la estabilidad de más emulsiones a 37°C y 50°C.

Se evaluó el desempeño del producto en formaleta de manera comparativa con productos de la competencia como se aprecia en la Figura 13.



Figura 13. Evaluación de desempeño aceite emulsionado.



Los resultados de desempeño en la prueba ácida indican mejor desempeño del producto GLASST en comparación con los productos de la competencia y excelente estabilidad bajo condiciones extremas, habilitando el modelo para este segmento de productos.

6.1 Conclusiones

El modelo Black Box en formulaciones es factible siempre que los componentes de este sean compatibles, no generen inestabilidades y reacciones o subproductos no previstos. Adicionalmente, se debe tener en cuenta el flujo, las etapas del proceso y que los elementos hagan parte del mismo grupo de materiales que intervienen en una etapa del proceso.

Existen productos como los de GLASST donde las condiciones del proceso y el orden de adición juegan un papel preponderante en el resultado final del producto. En casos como este, se generan mayores retos o incluso imposibilidades de desarrollar un Black Box.

El mecanismo de protección de una tecnología deberá tener en cuenta múltiples factores como:

- Modelo de negocio
- Proceso
- Proveedores
- Aliados estratégicos
- Costos asociados

Para aquellas empresas que hagan uso de los servicios de fabricación por terceros (maquila) la metodología Black Box debe ser considerada, y tenida en cuenta con un mecanismo complementario.



6.2 Bibliografía

[1] Botero Sierra, J. C. (2021). Colombia Patente NC2021/0001029.

[2] Botero Sierra, J. C., & Franco Castrillón, A. (2023). Water-based peelable coating. Estados Unidos U.S. Patente N°11,760,896 B2. 19 09 2023. Solicitante Glasst Innovation Company S.A.S., Medellín, Colombia. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US11760896B2/en>



7. Desarrollo de desmoldante de alto desempeño a partir de fuentes naturales sostenibles para prefabricados en concreto

Catalina Álvarez Ramírez; Alexander Hernández

Glasst Innovation Company

Debido a las nuevas regulaciones en la industria de la construcción y cambios de los comportamientos en los consumidores en la búsqueda de productos sostenibles, que ofrezcan un alto desempeño y; de menor impacto para sus colaboradores la industria de los materiales tiene como reto responder a estas necesidades. Uno de los productos más empleados en la industria de la construcción son los desmoldantes, los cuales ayudan a evitar que el concreto quede adherido a la formaleta (o molde empleado para vaciar el concreto: Figura 14) al ser retirada. Además, contribuye al mantenimiento de la superficie de esta, incrementando su vida útil y dando un mejor acabado al concreto (Figura 15).



Figura 14. Diferentes tipos de formaletas o moldes.



Figura 15. Diferentes acabados del concreto.



En el mercado de la construcción se ha sido identificado un segmento muy importante; los prefabricados (los cuales son muy utilizados en infraestructura vial p.ej. andenes, topes, aceras, etc.) y se obtienen del mezclado, vaciado y curado del concreto en moldes reusables de determinada geometría (Figura 16)



Figura 16. Piezas prefabricadas de concreto.

Los prefabricados, son formulaciones especiales de concreto ultra aceleradas, en donde sus tiempos de desencofrado están entre 2 a 4 horas, frente al concreto tradicional que tiene procesos de desencofrado que pueden tardar de 24 a 48 horas o incluso más; por ende, se requiere un desmoldante con propiedades diferentes al tradicional para este tipo de materiales.

Otro requerimiento importante (en especial para procesos automatizados), consiste en que el desmoldante tenga una viscosidad, la cual permita su aplicación por procesos de atomización/pulverización; obteniéndose un suministro más rápido y homogéneo, impactando tanto el rendimiento del desmoldante, como la apariencia y acabado del concreto; propiedad relevante



dados los tiempos de operación tan cortos para esta aplicación.

Tradicionalmente los desmoldantes para prefabricados en concreto están basados en sustancias con alto contenido de compuestos orgánicos volátiles (COVs), p.ej. el ACPM (diésel), el aceite quemado entre otros, además su uso puede representar riesgos de toxicidad y son potentes alérgenos, comprometiendo la salud de las personas que aplican el producto. Se han identificado algunas alternativas y soluciones sostenibles de desmoldantes para el sector de los prefabricados, los cuales se pueden observar desde el planteamiento del problema (Figura 17).



Figura 17. Posibles soluciones de desmoldantes para prefabricados.

Dentro de estas alternativas tenemos:

El aceite mineral: funciona como una barrera física reduciendo la tensión interfacial entre el concreto y la formaleta, porque forma una película aislante entre ambos. Esta acción se ve limitada por la baja resistencia de la película a los efectos de temperatura y abrasión, debido a esto tienden a dejar residuos en el concreto. Adicionalmente empleado de forma pura, incrementa el valor del producto; además al ser mineral, es derivado del petróleo y aunque existen grados USP (farmacéutico) usados ampliamente en la industria cosmética y que pueden llegar a ser biodegradables, provienen de una fuente no renovable.

El aceite vegetal: al ser empleado en forma pura, este aceite funciona tanto como barrera física como química: los ácidos grasos presente reaccionan químicamente con los cationes del

agua del hormigón creando jabones metálicos, que facilitan el punto de rotura predeterminado entre el concreto y la formaleta después de su endurecimiento; proporcionando por lo general mejores acabados; sin embargo, al igual que el aceite mineral, al ser empleado en forma pura es muy costoso, llegando a ser entre 1,5 y 3,5 veces más elevado que el mineral dependiendo de su origen. Algunos ejemplos son: los aceites vegetales de soya, girasol, canola, palma, higuera, coco, entre otros. Una de las ventajas de este tipo de aceite consiste en que provienen de fuentes vegetales renovables, y si bien son hidrocarburos, el carbono presente es de carácter troposférico o carbono localizado en la superficie de la tierra y no contribuye al incremento del nivel de CO² en la atmosfera.

Emulsiones: son aquellos compuestos elaborados a partir de la mezcla de aceite (vegetal o mineral) con agua, formando emulsiones tipo O/W (gotas de aceite dispersas en agua) o W/O (gotas de agua dispersas en aceite), son sustancias inmiscibles entre sí; por lo tanto requieren tensoactivos para ayudar a su incorporación, funcionan como una barrera química y pueden contener aditivos para la minimización de los poros y cavidades de contracción; además de proporcionar protección anticorrosiva para los moldes metálicos, adicionalmente se pueden incorporar aditivos acelerantes que pueden ayudar a que el curado del concreto sea más rápido. Al contener un porcentaje de aceite entre el 10-30%, el producto representa menor costo. Una descripción gráfica de las emulsiones puede verse en la Figura 18



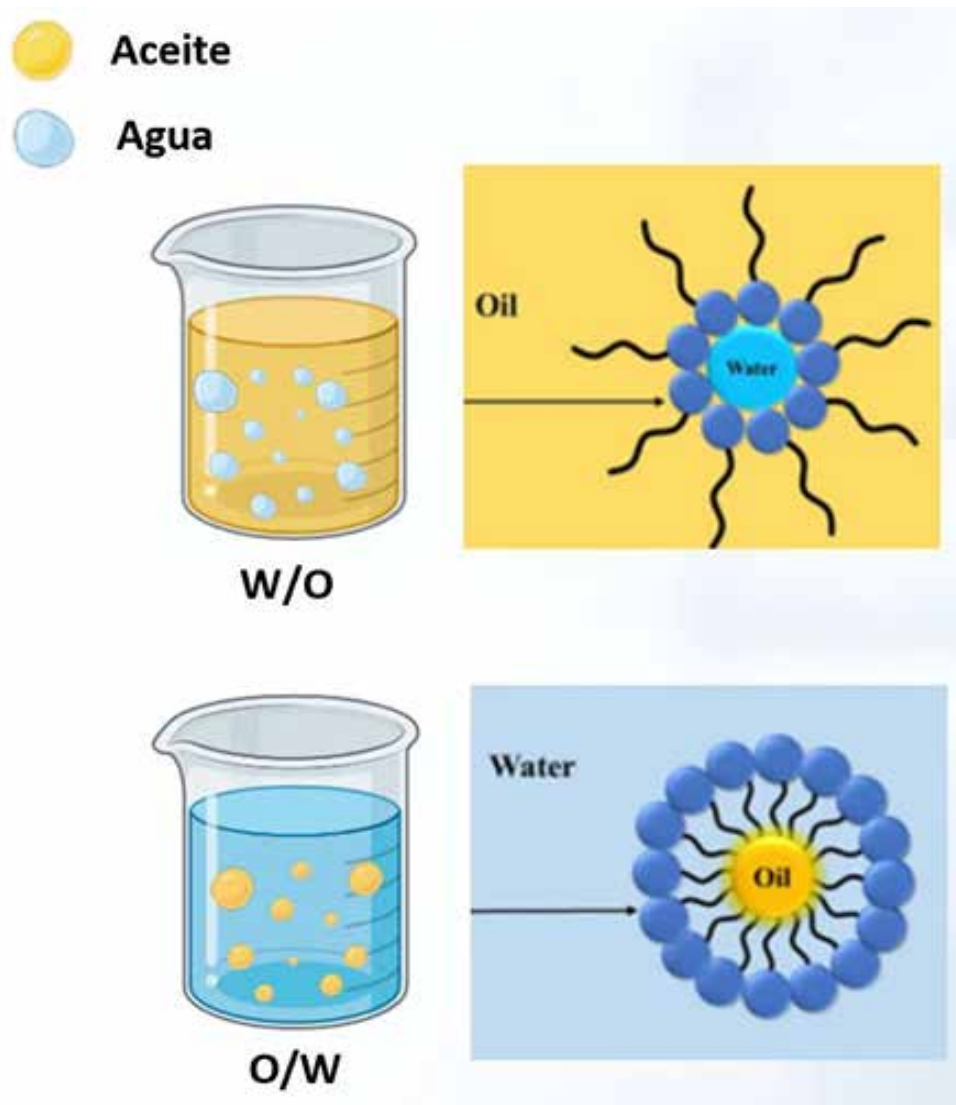
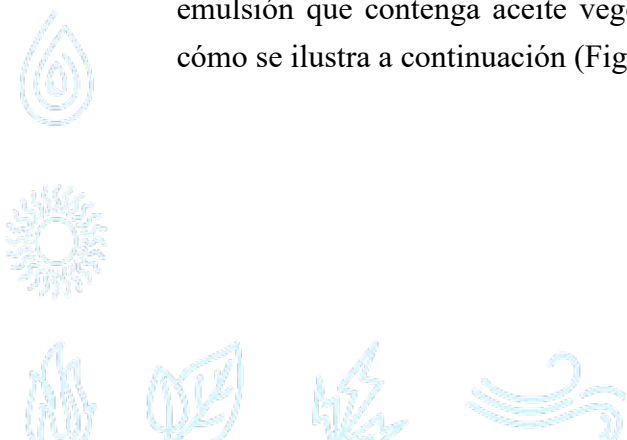


Figura 18. Tipos de Emulsiones.

Teniendo en cuenta lo anterior, la mejor opción es desarrollar un desmoldante a partir de una emulsión que contenga aceite vegetal y permita cumplir con las características deseadas, cómo se ilustra a continuación (Figura 19).



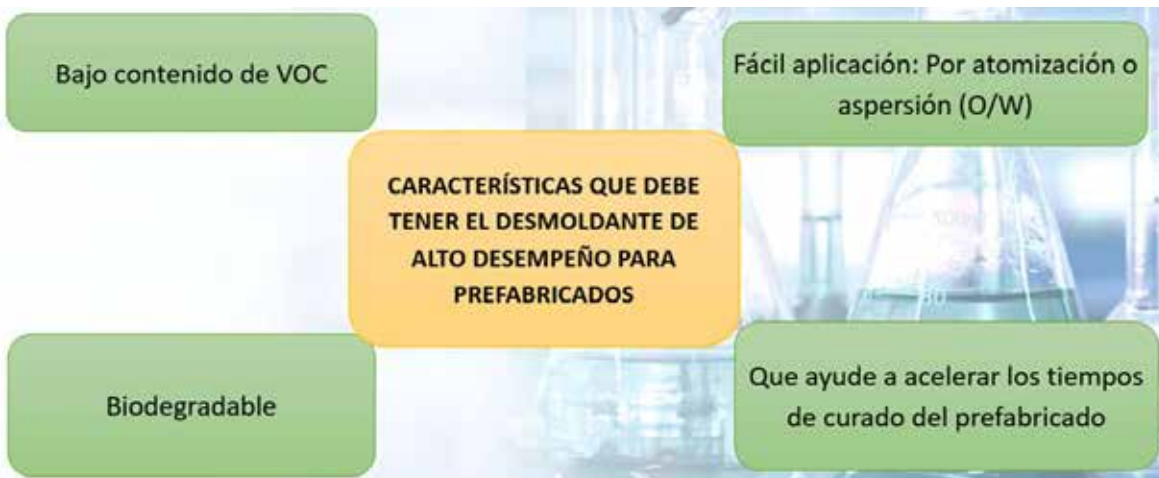


Figura 19. Características deseables del desmoldante para prefabricados.

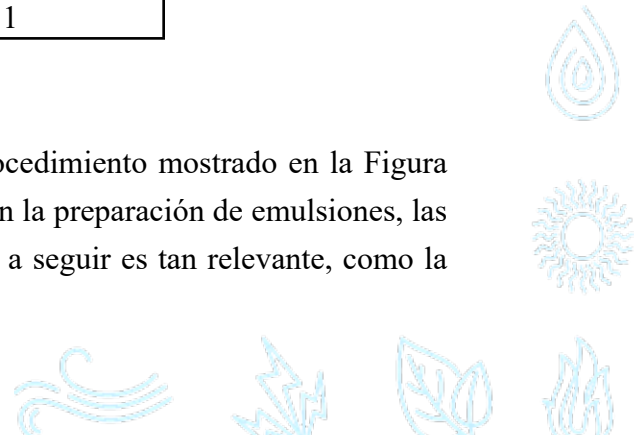
Para el desarrollo de este desmoldante se analizaron las posibles materias primas e insumos a emplear y su estabilidad y compatibilidad química realizando varios diseños de experimentos hasta obtener una formulación estable, que finalmente fue evaluada para verificar su desempeño, así:

1. Se estudiaron diferentes tipos de aceites vegetales, así como varios tensoactivos seleccionados de acuerdo con su compatibilidad con la fase oleosa y acuosa; llegando a una formulación como la que se muestra en la Tabla 3. En donde se descartaron los aceites más costosos (p.ej. girasol, higuera) debido a que hacen inviable económicamente el producto.

Tabla 3. Formulación general de las emulsiones formadas.

Compuesto	Composición (%)
Agua	60 - 80
Aceite vegetal	10 - 30
Tensoactivos	3 - 7
Aditivos acelerantes	1% de la fase oleosa
otros	1

2. Se preparó las emulsiones de acuerdo con el procedimiento mostrado en la Figura 20. En este punto es importante mencionar que, en la preparación de emulsiones, las condiciones de proceso y secuencia de los pasos a seguir es tan relevante, como la



formulación, y los proceso de formación de la gota influyen en el tamaño de la misma mediante la energía utilizada para su formación, desde procesos de baja energía como agitación magnética hasta procesos de ultra alta energía como la presurización o turbomezclado; el tamaño de gota de la fase dispersa define en gran medida la estabilidad de la emulsión, y este dependerá del proceso de agitación, los tensoactivos utilizados y la secuencia del proceso.



Figura 20. Proceso de preparación de la emulsión.

En este proceso, los tensoactivos se incorporaron en la fase oleosa y los aditivos en la fase acuosa. Se comienza el proceso de agitación de la fase acuosa y gota a gota se va agregando la fase oleosa sin dejar de agitar. De esta forma se obtiene una emulsión tipo O/W, donde las gotas de aceite están dispersas en el agua.

- De este diseño de experimento, se obtuvieron tres formulaciones (F3, F4 y F5), las cuales presentaron mejores resultados en cuanto a compatibilidad de los componentes (Figura 21). En Tabla 4, se encuentran los resultados de la caracterización.

Tabla 4. Caracterización de las emulsiones preparadas.

Propiedad	Muestra F3	Muestra F4	Muestra F5
pH	5.4	5.1	4.9
%ST	33.4	25.1	22.5
Densidad kg/gal	3.80	3.70	3.72



Figura 21. Emulsiones preparadas.

La muestra F5 presentó mayor estabilidad en el tiempo, mientras que las demás se separaron más rápidamente; sin embargo, al agitar nuevamente, las emulsiones se vuelven a reincorporar (Figura 21).

4. **Prueba de estabilidad:** la muestra F5 fue sometida a 37°C durante 24 horas, para verificar su estabilidad. Después del tiempo de exposición, se observa una leve separación de las fases; sin embargo, al agitar el sistema se vuelve a homogenizar (Figura 22).



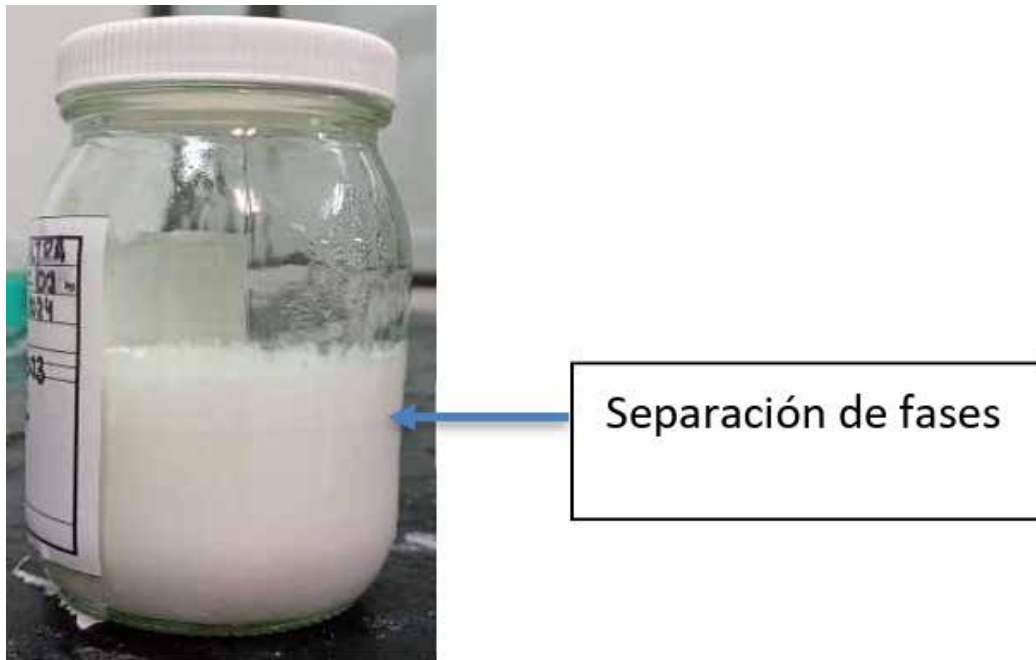


Figura 22. Separación de fases, después de 24h a 37°C.

- Prueba de desencofrado:** se realizó de la siguiente forma: una formaleta metálica se dividió en cuadrantes; en el primer cuadrante, se le aplicó el aceite vegetal 1 (AV1); en el segundo, el aceite vegetal 2 (AV2); en el tercero, la emulsión F5, la cual fue preparada con el AV2 y en el cuarto cuadrante, aceite mineral. Se dejaron secar por 30 minutos y se procedió a aplicar un mortero de concreto, el cual se dejó curar por 24 horas y transcurrido este tiempo se procedió a retirar las piezas. Para efectos comparativos, se evaluó la calidad del desencofrado en cuanto a facilidad de desprendimiento de las piezas, residuos en la formaleta, atizamiento y acabado del concreto (Figura 23).



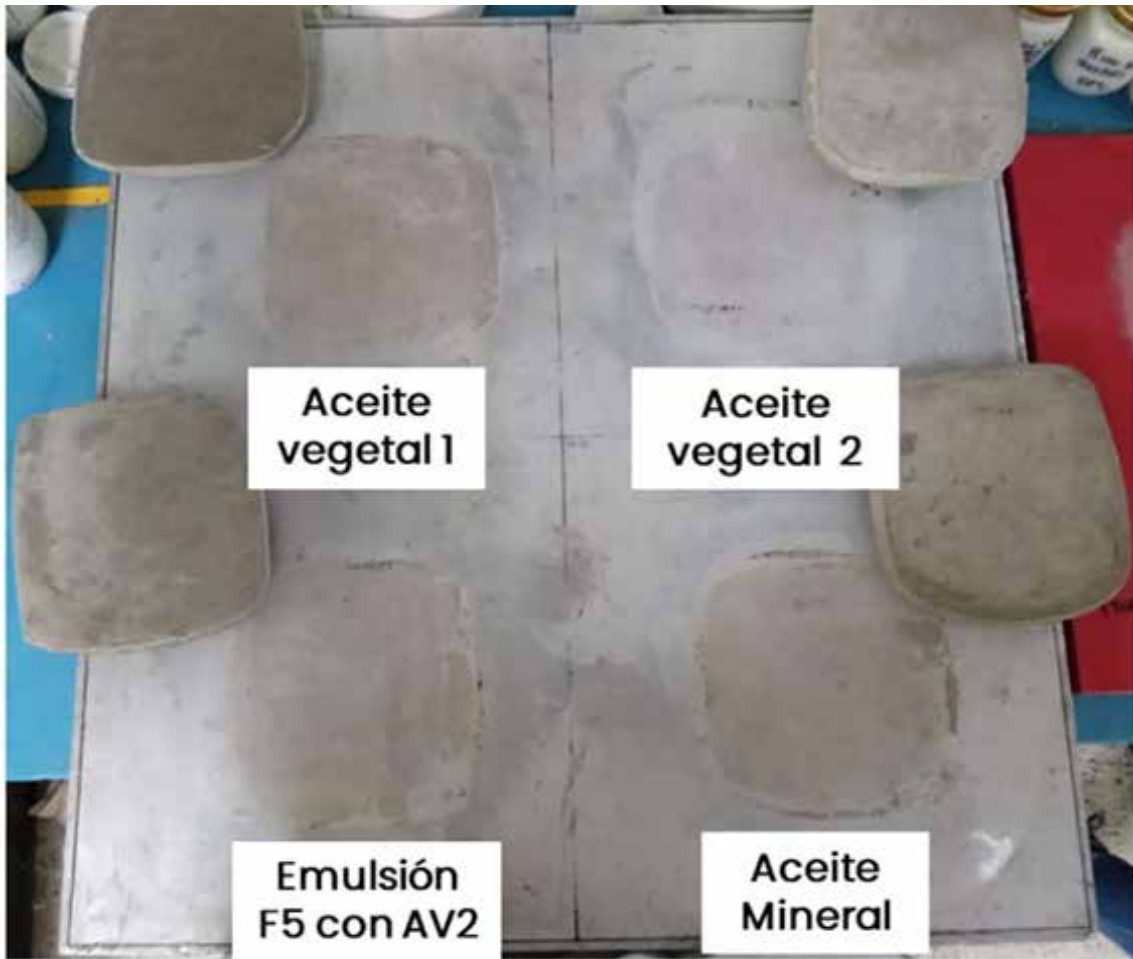


Figura 23. Pruebas de desempeño.

De acuerdo con lo observado se infiere que:

- El desencofrado con el aceite vegetal 2 (AV2), ofrece el mejor resultado, puesto que es muy limpio: no deja residuo en formaleta, tampoco genera atizamiento y la pieza de concreto tiene un buen acabado.
- Con el aceite vegetal (AV1) y la emulsión F5, se obtuvieron resultados similares al aceite vegetal 2 (AV2), presentando pocos residuos en formaleta, sin atizamiento y la pieza de concreto tiene un buen acabado.
- En cuanto al aceite mineral, se observó un leve residuo en formaleta (que afecta el acabado de la pieza) y no hay atizamiento.



- Con base en lo observado, se concluye que la emulsión F5 es una excelente opción como desencofrante, porque genera buenos resultados de desencofrado y es más viable económicamente que los aceites vegetales puros.
6. Finalmente, se realizó la incorporación de los aditivos acelerantes, que ayudaron a agilizar el curado del concreto. En este caso se probaron tres aditivos, que fueron incorporados al momento de elaborar la emulsión. Estos ensayos se hicieron con la emulsión F5, debido a los buenos resultados obtenidos en las pruebas anteriores. Se emplearon tres tipos de aditivos acelerantes (AD1, AD2 y AD3, Tabla 5) y una vez preparadas las emulsiones, se efectuaron pruebas de desencofrado (Figura 24).

Tabla 5. Incorporación de aditivos acelerantes para concreto (F5) (al 1% de la fase oleosa).

Muestra	Aditivo acelerante
1	Sin aditivo
2	AD1
3	AD2
4	AD3



Figura 24. Izquierda: Desencofrado en formaleta metálica. Derecha: Desencofrado en formaleta fenólica.



De acuerdo con estos resultados, la muestra dos (que correspondió a la formulación F5 con el AD1, presentó menor residuo en ambas formaleas, igualmente menor atizamiento y mejor acabado de la pieza de concreto.

Pasos por seguir:

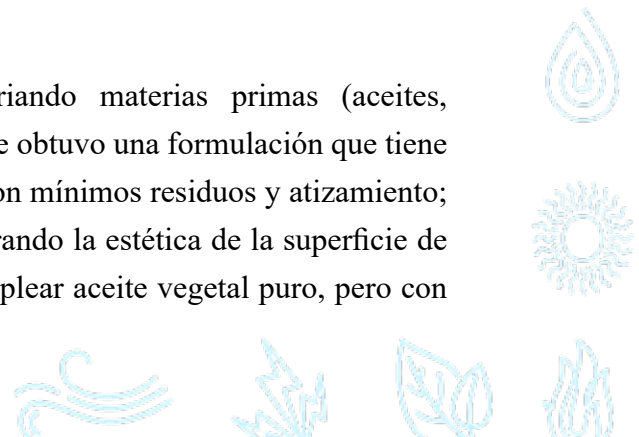
Una vez lograda la estabilidad requerida por el producto y refinada tanto la formulación como el proceso de manufactura, se hace necesario validar algunas características / propiedades de la emulsión obtenida tales como:

- Análisis de VOC por cromatografía de gases.
- Medición de tamaño de partícula en la emulsión y distribución.
- Pruebas de biodegradabilidad.

Para posteriormente iniciar con los procesos de escalamiento en laboratorio y planta piloto, procesos que se hacen en al menos dos etapas, una etapa inicial en la cual se hace un escalamiento y fabricación a nivel piloto de 40 kilogramos (dos cuñetes), los cuales serán enviados a clientes específicos para que hagan evaluación de su desempeño en ambiente real. Posteriormente se hará un escalamiento mayor con la fabricación de 400 kg de producto (dos tambores) que se enviarán a otros clientes para su validación. Una vez surtidos estos procesos de escalamiento, habiéndose recabado toda la información y retroalimentación recibida por parte de los clientes, se dará inicio al proceso de creación de la referencia a nivel comercial.

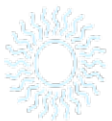
7.1 Conclusiones

Al preparar formulaciones de emulsiones O/W variando materias primas (aceites, tensoactivos y aditivos acelerantes) y sus proporciones, se obtuvo una formulación que tiene alta estabilidad y permite el desencofrado del concreto con mínimos residuos y atizamiento; al mismo tiempo que acelera el tiempo de curado, mejorando la estética de la superficie de concreto. La emulsión obtenida es tan efectiva como emplear aceite vegetal puro, pero con



la ventaja de disminuir costos, gracias a las materias primas empleadas, donde el ingrediente principal (aceite), se encuentra en una proporción inferior al 30%.

El uso de este tipo de emulsiones sostenibles en la industria de la construcción ayudará al reemplazo de sustancias (como diésel y aceite quemado) que son nocivas para la salud y el ambiente; complementando el portafolio de productos de GLASST con un desmoldante de origen natural (biobasado) y contribuyendo con alternativas de mínimo impacto en la generación de gases de efecto invernadero (GEI).



8. Diseño y caracterización de nuevos materiales heteroestructurados como cátodos en baterías de ion-Li

Nerly Liliana Mosquera Mosquera¹; Jorge Andrés Calderón Gutiérrez²

¹Doctora en ingeniería de materiales; magíster en ciencias química; química; Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales – CIDEMAT; Universidad de Antioquia. Medellín – Colombia. nerly.mosquera@udea.edu.co

²Doctor en ciencias e ingeniería de materiales; ingeniero metalúrgico; Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales – CIDEMAT; Universidad de Antioquia. Medellín – Colombia. andres.calderon@udea.edu.co

8.1. Resumen

Es fundamental el diseño de nuevos materiales activos de cátodos para aplicaciones en baterías de ion-Li, a partir de las fases límites espinela ($\text{Li}_x\text{M}_{2-y}\text{Ti}_y\text{O}_4$) y fase capa $\text{Na}_z\text{Li}_{1-z}\text{Mn}_{0.5-w}\text{NiTi}_w\text{O}_2$ libre de cobalto, con la intención de alcanzar sistemas de almacenamiento de alta energía que cumpla con los requerimientos electroquímicos aparentes, tal como, buena capacidad específica de descarga, alta estabilidad durante los procesos de inserción/desinserción del litio y buena retención de la capacidad a altas velocidades de ciclado. El material heteroestructurado se sintetizó mediante el método de sol-gel. Se logró exitosamente, la inserción de Na^+ como catión dopante en la fase tipo capa, lo cual mejoró la velocidad de difusión del ion Li^+ en la dirección 1D y con ello un aumento en la capacidad específica del material y rendimiento en los ciclos de carga y descarga. La respuesta electroquímica mostró que el compuesto ($\text{Na}=0.1$), presentó una capacidad de descarga inicial de 168.5 mAhg^{-1} a 0.1 C y una capacidad de descarga máxima de 128 mAhg^{-1} a 1 C en ciclo 8, manteniendo una buena estabilidad con el número de ciclos, reteniendo más del 90% y 85 % de la capacidad a dichas velocidades de descarga después de 100 ciclos.

Palabras clave: Cátodo; Espinela-capas; Energía; Almacenamiento; Batería ion-Li.



8.2 Introducción

La demanda de baterías de alta capacidad está aumentando rápidamente debido a las necesidades energéticas que cada vez son mayores. Especialmente en el sector transporte, donde la búsqueda se encamina a la fabricación de vehículos eléctricos que sean económicos, de largo alcance y alta durabilidad, no obstante, la consolidación en el mercado se ha limitado por el uso de electrodos de cátodo convencionales como LiCoO_2 , LiFePO_4 y LiNi_2O_4 , los cuales son incapaces de cumplir con el rango eléctrico requerido. Para ello, se han propuesto materiales de cátodo tipo espinela $\text{Li}_x\text{Mn}_{2-x}\text{MO}_4$ [M: Ti, V] modificados como una alternativa a los materiales activos ya existentes (LiCoO_2), los cuales representan altos costos en producción y son altamente tóxicos para el uso en aplicaciones en baterías de iones de litio [1]. La incorporación del Ti^{4+} en las espinelas LiMn_2O_4 se realiza con la finalidad de mejorar la estabilidad del material, reduciendo los inconvenientes asociados al efecto Jahn-Teller que presenta la especie Mn^{3+} [2,3]. Por otra parte, materiales tipo capa, $\text{Li}[\text{M}_{1-x}\text{Li}_x]\text{O}_2$ (M = Ni, Co, Mn, etc.) se proponen como promisorios materiales de cátodo, debido a que reportan capacidades de descarga teóricas que superan los 250 mA h g^{-1} cuando se descarga de 4.8 V a 2.0 V vs. $\text{Li}|\text{Li}^+$ [4,5]. No obstante, sufren gran pérdida de la capacidad de forma irreversible, que oscila entre 40 y 100 mA h g^{-1} [6] y baja capacidad de descarga a altas velocidades [7]. Lo cual, se ha atribuido al proceso de migración de los iones metálicos (TM) a las posiciones del ion litio, lo que conlleva a una transformación de fase irreversible y la disolución de los iones de los metales de transición en el electrolito [8].

Razón por el cual, el interés en la síntesis de materiales heteroestructurados tipo espinela-capas para resolver de forma efectiva el rendimiento de los materiales de cátodo en baterías de ion-Li. En este sentido, un nuevo enfoque se presenta, a partir de la inserción de un catión electroquímicamente inactivos en la fase capa, tal como Na^+ , para restringir las transiciones de fase y estabilizar la estructura [8–10]. Esta metodología se plantea como una opción interesante para mejorar el desempeño electroquímico del material activo, debido a que la presencia de sodio crea un efecto tipo ancla, el cual permite estabilizar la estructura y favorecer los procesos de difusión de los iones de Li^+ , reduciendo los esfuerzos residuales durante el proceso de ciclado, sin un impacto apreciable en la densidad de energía.

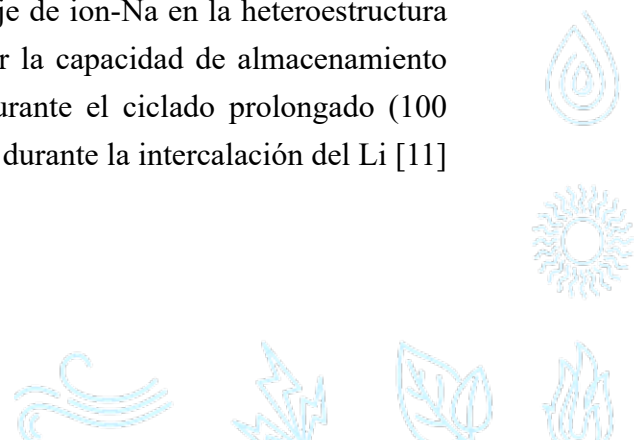


8.3 Metodología

Se presentó y utilizó un sencillo método sol-gel para la síntesis de los materiales heteroestructurado tipo espinela-capas $\text{LiMn}_{1.8}\text{Ti}_{0.2}\text{O}_4 - \text{Li}_{1-x}\text{Na}_x\text{Mn}_{0.4}\text{Ni}_{0.5}\text{Ti}_{0.1}\text{O}_2$ para cátodos en baterías de ion de litio manteniendo las características nanoestructuradas y minimizando la formación de impurezas de TiO_2 . Las muestras se caracterizaron física y electroquímicamente mediante ensayos de DRX, Raman, TEM, SEM, XPS y galvanostáticos. El efecto de los procesos de incorporación y degradación de Ti y Na durante el ciclado fue estudiado por voltamperometría cíclica, ciclado de carga/descarga y espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS), este último análisis se realizó mediante los ajustes de circuito eléctrico equivalente y se comparó con la distribución de los tiempos de relajación (DRT).

8.4 Resultados

La caracterización estructural de los materiales heteroestructurados espinela-capas: $\text{LiMn}_{1.8}\text{Ti}_{0.2}\text{O}_4 - \text{Li}_{1-x}\text{Na}_x\text{Mn}_{0.4}\text{Ni}_{0.5}\text{Ti}_{0.1}\text{O}_2$ [$X=0$: Na_0 ; $X=0.1$: $\text{Na}_{0.1}$; $X=0.2$: $\text{Na}_{0.2}$ y $X=0.5$: $\text{Na}_{0.5}$] mediante ensayos de difracción de rayos X muestra que en todos los óxidos sintetizados coexisten las fases cristalinas tipo espinela (ICSD 98-007-0023), estructura cúbica con grupo espacial a y la fase tipo capa (ICSD 98-016-6861), sistema cristalino monoclinico, con grupo espacial $C2/m$. La respuesta electroquímica de los materiales activos se muestra en la Figura 25. Los ciclos de carga/descarga fueron realizados a una velocidad de $0.1C$ durante 100 ciclos en el rango potencial de 2.0 a 4.9 V vs. $\text{Li}|\text{Li}^+$. Los materiales activos Na_0 y $\text{Na}_{0.1}$ presentaron una capacidad inicial de 140 y $168.5 \text{ mA h g}^{-1}$, respectivamente, con retención del 98.0 y el 99.0% de la capacidad inicial en el ciclo 50, respectivamente y del 95.1 y el 93% de la capacidad inicial en el ciclo 100, respectivamente. En contraste con las heteroestructuras espinela-capas $\text{Na}_{0.2}$ y $\text{Na}_{0.5}$ que solo retuvieron el 74 y 70% de la capacidad inicial en el ciclo 100. Se infiere que, una pequeña cantidad de dopaje de ion-Na en la heteroestructura $\text{LiMn}_{1.8}\text{Ti}_{0.2}\text{O}_4 - \text{Li}_{0.1}\text{Na}_{0.1}\text{Mn}_{0.4}\text{Ni}_{0.5}\text{Ti}_{0.1}\text{O}_2$ logra aumentar la capacidad de almacenamiento energético y adicionalmente estabilizar la estructura durante el ciclado prolongado (100 ciclos), debido que alivia los cambios en la red cristalina durante la intercalación del Li [11] (Figura 25).



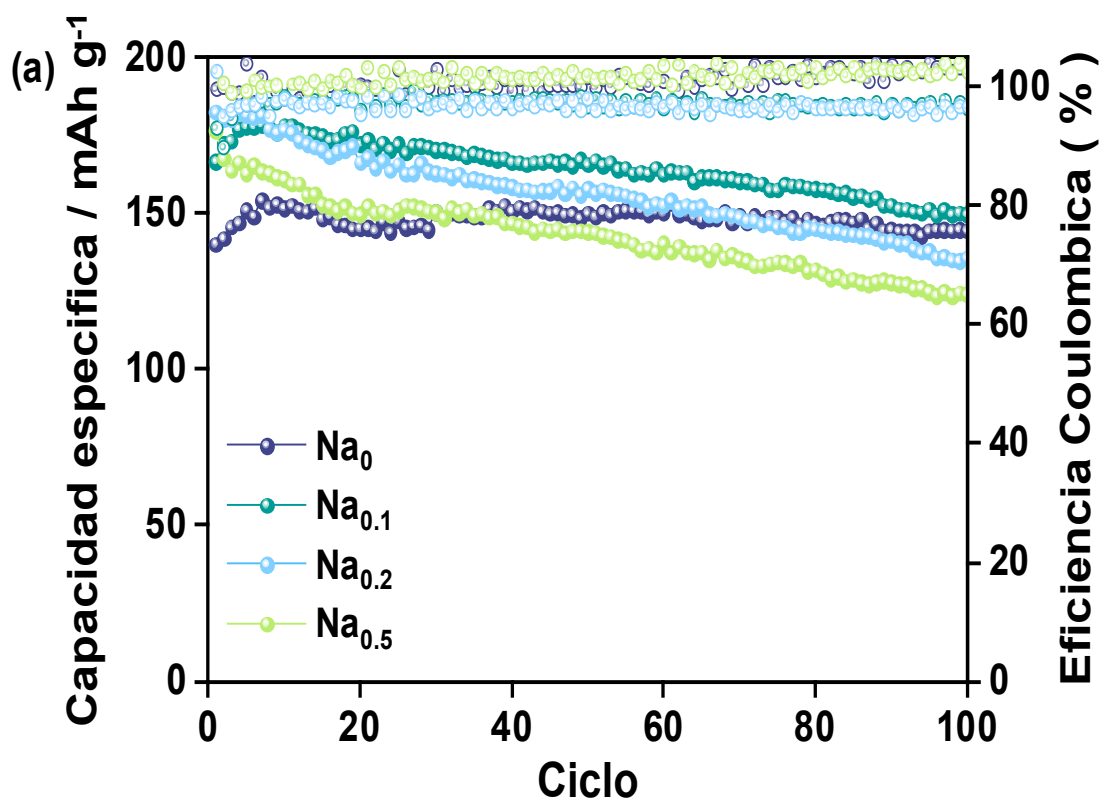


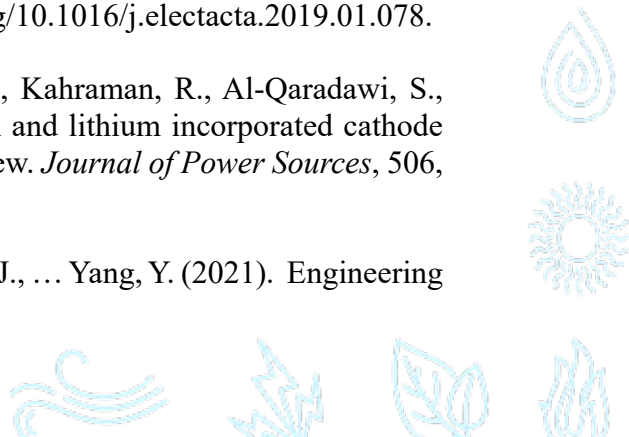
Figura 25. Capacidad específica de descarga de los materiales activos ciclados a 28.2 mA g^{-1} (0.1 C-rate) entre 4.9 y 2 V E vs. $\text{Li/Li}^+/\text{V}$

Lo anterior muestra que, el nuevo material compuesto con $\text{Na}_{0.1}$, presentó resultados superiores en cuanto a la estabilidad en el ciclado frente a las fases límites espinela y capa. Los resultados indican que la incorporación de Na^+ , mejora el rendimiento de ciclado y contribuye a aumentar la capacidad de descarga en la heteroestructura espinela-capas. Así, al poseer interesantes propiedades en la estabilidad cíclica, se cree que este material podría ser un potencial cátodo para el desarrollo de baterías recargables.



8.5 Referencias

- [1] Xu, G., Liu, Z., Zhang, C., Cui, G., & Chen, L. (2015). Strategies for improving the cyclability and thermo-stability of LiMnO_2 -based batteries at elevated temperatures. *J. Mater. Chem. A*, 3, 4092–4123. <https://doi.org/10.1039/c4ta06264g>.
- [2] Bao, Y., Zhang, X., Zhang, X., Yang, L., Zhang, X., Chen, H., ... Fang, D. (2016). Free-standing and flexible LiMnTiO_4 /carbon nanotube cathodes for high performance lithium ion batteries. *Journal of Power Sources*, 321, 120–125. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.04.121>.
- [3] Hung Vu, N., Arunkumar, P., & Bin Im, W. (2017). High-performance spinel-rich $\text{Li}_{1.5}\text{MnTiO}_{4+\delta}$ ultralong nanofibers as cathode materials for Li-ion batteries. *Scientific Reports*, 7, 1–12. <https://doi.org/10.1038/srep45579>.
- [4] Zheng, J., Gu, M., Xiao, J., Zuo, P., Wang, C., & Zhang, J.-G. (2013). Corrosion/fragmentation of layered composite cathode and related capacity/voltage fading during cycling process. *Nano Lett.*, 13, 3824–3830. <https://doi.org/10.1021/nl401849t>.
- [5] Gu, M., Belharouak, I., Zheng, J., Wu, H., Xiao, J., Genc, A., ... Wang, C. (2013). Formation of the Spinel Phase in the Layered Composite Cathode Used in Li-Ion Batteries. *ACS Nano*, 7(1), 760–767. <https://doi.org/10.1021/nm305065u>.
- [6] Zheng, J. M., Li, J., Zhang, Z. R., Guo, X. J., & Yang, Y. (2008). The effects of TiO_2 coating on the electrochemical performance of $\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$ cathode material for lithium-ion battery. *Solid State Ion*, 179, 1794–1799. <https://doi.org/10.1016/j.ssi.2008.01.091>.
- [7] Kim, J.-S., Johnson, C. S., Vaughey, J. T., Thackeray, M. M., Hackney, S. A., Yoon, W., & Grey, C. P. (2004). Electrochemical and structural properties of $x\text{Li}_2\text{M}'\text{O}_3 \cdot (1-x)\text{LiMn}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{O}_2$ electrodes for lithium batteries ($\text{M}' = \text{Ti, Mn, Zr}$; $0 \leq x \leq 0.3$). *Chemistry of Materials*, 16(10), 1996–2006. <https://doi.org/10.1021/cm0306461>.
- [8] Han, J., Zheng, H., Hu, Z., Luo, X., Ma, Y., Xie, Q., ... Yue, G. (2019). Facile synthesis of Li-rich layered oxides with spinel-structure decoration as high-rate cathode for lithium-ion batteries. *Electrochim Acta*, 299, 844–852. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.01.078>.
- [9] James Abraham, J., Arro, C. R. A., Tariq, H. A., Kahraman, R., Al-Qaradawi, S., Al tahtamouni, T. M., & Shakoor, R. A. (2021). Sodium and lithium incorporated cathode materials for energy storage applications - A focused review. *Journal of Power Sources*, 506, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230098>.
- [10] Zuo, W., Liu, X., Qiu, J., Zhang, D., Xiao, Z., Xie, J., ... Yang, Y. (2021). Engineering



Na⁺-layer spacings to stabilize Mn-based layered cathodes for sodium-ion batteries. *Nature Communications*, 12, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25074-9>.

[11] Yuan, D., He, W., Pei, F., Wu, F., Wu, Y., Qian, J., ... Yang, H. (2013). Synthesis and electrochemical behaviors of layered Na_{0.67}[Mn_{0.65}Co_{0.2}Ni_{0.15}]O₂ microflakes as a stable cathode material for sodium-ion batteries. *Journal of Materials Chemistry A*, 1, 3895–3899. <https://doi:10.1039/c3ta01430d>.



9. Óxidos de perovskita como electrolitos sólidos de alto rendimiento para batería ion litio

Maycol F. Mena Palacios^{1,3*}; Ferley A. Vásquez¹; Nataly Carolina Rosero-Navarro²; Jorge A. Calderón¹

¹ Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales CIDEMA; Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

² Departamento de Vidrio, Instituto de Cerámica y Vidrio - CSIC, Madrid, España.

³ Centro de Investigación en Energías Renovables y Climatología, Universidad Tecnológica del Chocó, Quibdó, Colombia.

* maycolf.mena@udea.edu.co

9.1 Resumen

Las baterías de iones de litio en estado sólido, como sistema de almacenamiento de energía electroquímica, pueden contribuir al aumento de la seguridad y rendimiento de las baterías convencionales. Sin embargo, los electrolitos sólidos para su desarrollo industrial y comercial aún enfrentan algunos retos, como baja conductividad iónica del electrolito sólido, limitada ventana de potencial electroquímico y alta resistencia interfacial, debido al mal contacto y a reacciones interfaciales entre el electrolito sólido y los materiales activos (ánodo y cátodo). Los óxidos perovskita (ABO_3) como electrolitos sólidos son prometedores como materiales para batería de ion-litio, debido a su alta estabilidad frente al ambiente y baja conductividad de grano. Por lo tanto, en este trabajo se plantea la síntesis con estructura perovskita como electrolitos sólidos mediante métodos húmedos para el procesamiento por sol-gel y la coprecipitación, buscando aumentar la conductividad iónica en los límites de grano y mejorar su rendimiento electroquímico.

Palabras clave: Electrolitos sólidos; Baterías ion-litio; Baterías en estado sólido; Perovskita.



9.2 Introducción

En la transición hacia una energía sostenible, se requieren sistemas de almacenamiento de energía altamente eficientes y seguros para su aplicación en dispositivos móviles, vehículos eléctricos y almacenamiento estacionario proveniente de la red eléctrica o de fuentes de energías renovables. Las baterías de ion-litio han generado un interés significativo en este contexto, debido a su alta densidad de energía volumétrica y gravimétrica, así como a su alta capacidad y larga vida útil. No obstante, presentan problemas de seguridad derivados del uso de electrolito líquido.

La sustitución del electrolito líquido por sólido puede contribuir a mejorar los problemas de seguridad, porque son más estables térmicamente. Sin embargo, el desarrollo industrial y comercial de estas baterías enfrenta desafíos particulares. La baja conductividad iónica en los electrolitos sólidos ($< 1 \times 10^{-4} \text{ S cm}^{-1}$) representa un obstáculo significativo en comparación con los electrolitos líquidos, que cuentan con una conductividad de $1 \times 10^{-2} \text{ S cm}^{-1}$). Además, se observa una resistencia interfacial elevada, debido a problemas de contacto inadecuado y reacciones interfaciales entre el electrolito sólido y los materiales activos.

Los electrolitos sólidos, como perovskita $\text{Li}_{0.34}\text{La}_{0.51}\text{TiO}_{2.94}$ (ABO_3), muestran alta estabilidad química y alta conductividad iónica a granel ($1 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$). A pesar de esto, la conductividad iónica total es menor ($1.96 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$); debido a la resistencia del límite del grano, lo que reduce significativamente la capacidad de transporte iónico [12].

El uso de dopantes en los óxidos perovskita para el sitio B con cationes de menor radio iónico, puede ser una alternativa para disminuir las fuerzas de enlace interatómico y mejorar la conductividad del ion-litio [13]. Además, el uso de métodos de síntesis que permitan un control adecuado de la estructura, morfología y composición puede incidir en una reducción de esta resistencia en los límites de grano.

El objetivo de este trabajo fue obtener electrolitos sólidos tipo perovskita, mediante rutas de síntesis húmedas como el método sol-gel y coprecipitación. Asimismo, se buscó dopar estas estructuras con el fin de aumentar la conductividad iónica en los límites de grano.



9.3 Metodología

Para la obtención de los electrolitos sólidos tipo perovskita, se utilizó los métodos sol-gel y coprecipitación. Se evaluó el efecto del tiempo y las temperaturas de calcinación y sinterización sobre la morfología, composición, estructura y propiedades electroquímicas.

La morfología se estudió mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). Se utilizó la emisión de dispersión de rayos X (EDX) en aras de estudiar la composición elemental. Para analizar la estructura cristalina y los modos vibracionales, se utilizó difracción de rayos X (DRX) y Raman, respectivamente. En cuanto a la medición de la conductividad iónica, se empleó espectroscopía de impedancia electroquímica (EIE).

9.4 Resultados

Los electrolitos sólidos sintetizados por el método de coprecipitación revelaron estructura de perovskita en el sistema cristalino ortorrómbico de todas las composiciones de materiales $\text{Li}_{0.3}\text{La}_{0.57}\text{Ti}_{1-x}\text{V}_x\text{O}_3$ ($x=0 - 0.05$) (Figura 26), mostrando parámetros de red más bajos con el dopaje de vanadio. Esto último puede atribuirse a la sustitución parcial del V^{+5} , que tiene un radio iónico (0.54 Å) inferior a Ti^{+4} (0.605 Å), en el catión B de la estructura de perovskita. Los polvos obtenidos mostraron morfología irregular (Figura 27), pero con una distribución elemental homogénea, se alcanzaron densidades relativas superiores al 90%.



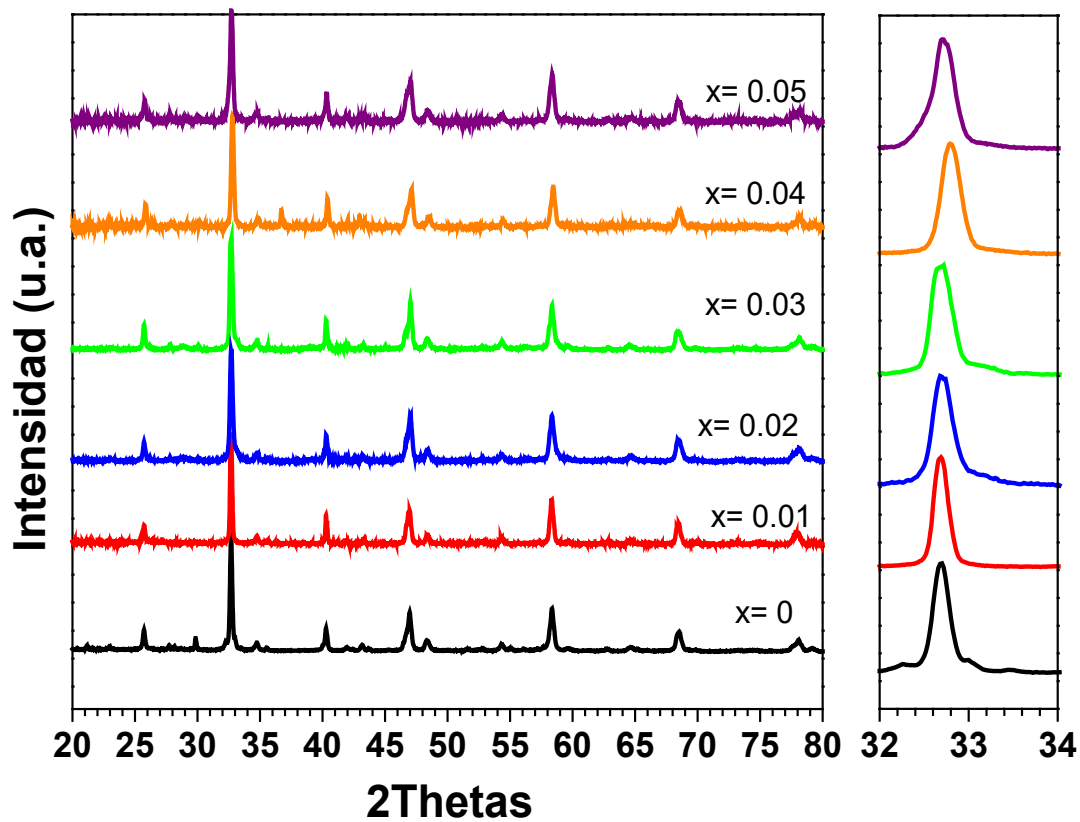


Figura 26. Patrones de difracción de Rayos X para electrolitos sólidos tipo perovskita $Li_{0.3}La_{0.57}Ti_{1-x}V_xO_3$ ($x=0 - 0.05$), obtenido por el método síntesis de co-precipitación.

La conductividad iónica en los granos fue superior $10^{-4} \text{ S cm}^{-1}$, mientras que se alcanzaron conductividades iónicas totales superiores a $5 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$.

Los materiales para electrolitos sólidos obtenidos por el método sol-gel, presentaron fases perovskita superior al 90%, con morfología regular y densidades relativas superiores al 95%. Por este método se logró conductividades iónicas totales superiores a $10^{-4} \text{ S cm}^{-1}$.



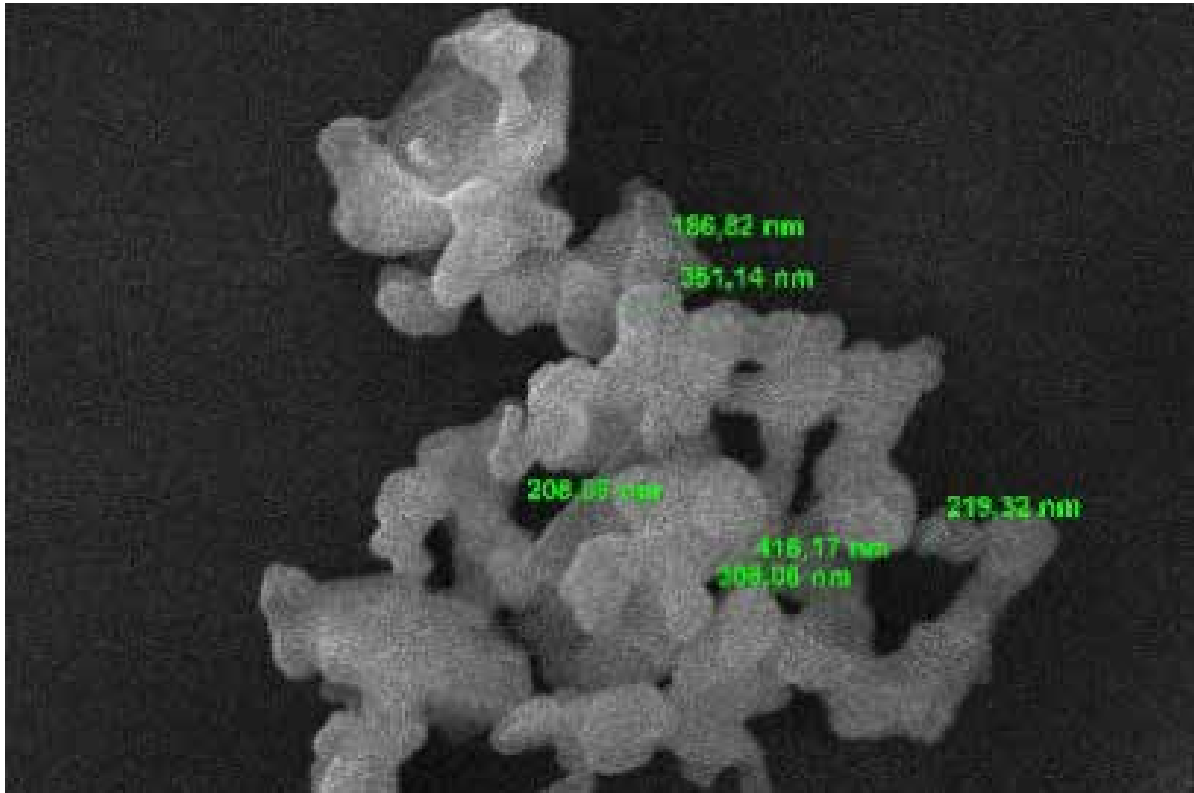
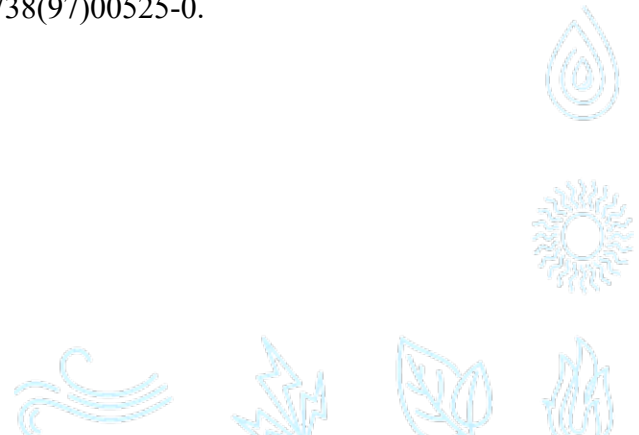


Figura 27. Morfología de electrolitos sólidos tipo perovskita obtenido por método de co-precipitación.

9.5 Referencias

- [12] Itoh, M., Inaguma, Y., Jung, W., Chen, L., & Nakamura, T. (1994). High lithium ion conductivity in the perovskite-type compounds $\text{Ln}_{1/2}\text{Li}_{1/2}\text{TiO}_3$ ($\text{Ln}=\text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}$). *Solid State Ionics*, 70/71, 203–207. [https://doi.org/10.1016/0167-2738\(94\)90310-7](https://doi.org/10.1016/0167-2738(94)90310-7).
- [13] Chung, H. T., Kim, J.-G., & Kim, H.-G. (1998). Dependence of the lithium ionic conductivity on the B-site ion substitution in $(\text{Li}_{0.5}\text{La}_{0.5})\text{Ti}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_3$ ($\text{M}=\text{Sn}, \text{Zr}, \text{Mn}, \text{Ge}$). *Solid State Ionics*, 107, 153–160. [https://doi.org/10.1016/s0167-2738\(97\)00525-0](https://doi.org/10.1016/s0167-2738(97)00525-0).



10. Materiales de cátodo tipo capa ricos en litio de alto rendimiento electroquímico para baterías de ion litio

Héctor David Agudelo Arias

Estudiante de doctorado, Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia; magíster en ingeniería; docente e investigador de la facultad de ingeniería, Universidad Tecnológica del Chocó, Quibdó Colombia.

hdavid.agudelo@udea.edu.co; d-hector.agudelo@utch.eud.co

10.1 Resumen

Como parte del análisis del avance en el desarrollo de materiales de cátodo para batería de ion litio se utilizó el software VOSviewer. En éste, se tuvo en cuenta la funcionalidad de mapa basado en datos bibliográficos en aras de realizar un análisis de co-ocurrencia de las palabras clave (incluye resumen y título). Adicionalmente, se proporciona un análisis de los materiales tipo capa para baterías de ion litio existente en la literatura, mediante la confrontación de la capacidad de descarga inicial de tales materiales. Luego, se procedió a realizar un cuadro comparativo de las propiedades electroquímicas de retención de la capacidad transcurridos 100 ciclos y de las capacidades de descarga iniciales. Las pruebas experimentales fueron desarrolladas en el Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales-CIDEMAT de la Universidad de Antioquia. Finalmente, se muestran los resultados producto del análisis de espectroscopía Raman del material basado en elementos como el níquel y el manganeso de estequiometría $\text{Li}_{1.2}\text{Ni}_{0.3}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_2$, el cual fue operado en una media celda que mostró una capacidad de descarga inicial de $256.31 \text{ mAh g}^{-1}$.

Palabras clave: Materiales de cátodo; Batería de ion litio; Capacidad de descarga; Materiales de intercalación.



10.2 Introducción

El cátodo de LiCoO_2 se ha utilizado ampliamente en batería de ion litio-LIB para aplicaciones portátiles debido a su compactidad, alta densidad de energía, excelente ciclo de vida y confiabilidad [14, 15]. Sin embargo, las limitadas fuentes de materias primas y el alto costo del cobalto representan algunos retos en este material [16 – 18]. El LiNiO_2 , el cual es isoestructural con el LiCoO_2 , se reporta como un material estable para los cátodos de Baterías de Ion Litio-(BI-L). Sin embargo, la escasa estabilidad térmica de este material en el funcionamiento de BI-L representa riesgos de seguridad [19 - 21]. Por otro lado, el LiMnO_2 ha aparecido como un cátodo de bajo costo para BI-L. Aunque, es muy inestable durante los procesos de carga/descarga [19, 22]. Por otro lado, el material de capa rico en Ni ($\text{LiM}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_2$, donde M es un metal de transición (Mn, Co, Al, Fe, Cr y Ni, $x > 0.8$), aparece como una alternativa para lograr un equilibrio adecuado entre bajo costo y estabilidad [22, 23]. A pesar de su prometedor rendimiento, presenta inconvenientes como la reacción espontánea del material con el electrolito y la rápida pérdida del rendimiento electroquímico y de almacenamiento [22].

El óxido de capa rico en Li mostró una mejor ciclabilidad y rendimiento de seguridad a potenciales de electrodo más altos (4.5 V vs. Li/Li+) [22]. Haciendo estos materiales los más prometedores para el futuro de la batería de ion litio.

10.3 Metodología

La metodología del presente trabajo fue:

1. Revisión de la literatura con un mapa de alta frecuencia, usando el software VOSviewer.
2. Elaboración de cuadro comparativo de materiales existente en la literatura, así como el funcionamiento de estructura tipo capa para la difusión del ion litio dentro de los materiales.
3. Basado en los resultados obtenidos en el laboratorio de CIDEMAT, se efectuó un análisis de espectroscopía Raman para verificar la existencia de la fase tipo capa característica.
4. Finalmente, se presentaron los resultados de capacidad de descarga inicial del material tipo capa, al cual se le realizó el análisis de espectroscopía Raman.

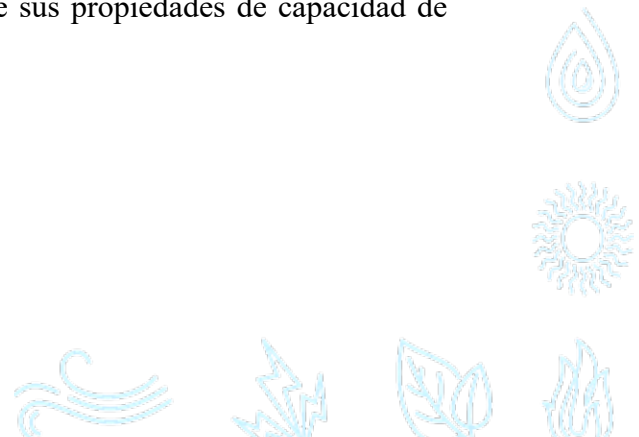


La Tabla 6, relaciona los materiales de cátodos para baterías de ion litio investigados en los últimos años. Cada material entra a una capacidad de descarga diferente. Sin embargo, la retención de la capacidad es un indicador que demuestra la capacidad del material durante el ciclado. Las capacidades más altas pueden verse en materiales tipo capa, mientras que las mejores retenciones en materiales como espinelas y olivinos. El uso de estrategias como el dopaje de materiales, puede conferir al material mejoras en las propiedades.

Tabla 6. Materiales de cátodo para baterías de ion más comunes en la literatura

Estructura	Acrónimo	Cátodo	Voltaje de Celda (V vs. Li/Li+)	Capacidad de descarga inicial reportada (0.1C)	Capacidad de retención después de 100 ciclos	Referencia
Tipo Capa	LCO	LiCoO ₂	4.45	172 mAh g ⁻¹ (1C = 270 mA g ⁻¹)	48.7%	[24]
Tipo Capa	LNO	LiNiO ₂	4.3	~ 210 mAh g ⁻¹ (1C = 180 mAh g ⁻¹)	76%	[25]
Tipo Capa	NCA	LiNi _{0.8} Co _{0.15} Al _{0.05} O ₂	2.8-4.3	203 mAh g ⁻¹ (1C = 200 mAh g ⁻¹)	96.5% después de 60 ciclos	[26]
Tipo Capa	NMC	LiNi _x Mn _y Co _{1-x-y} O ₂	2.7-4.8	190 mAh g ⁻¹ (at 0.298 mA/cm ²)	92.1% después de 50 ciclos	[27]
Espinela	LMO	LiMn ₂ O ₄	3.0 V-4.3	115 mAh g ⁻¹ (1C = 120 mA g ⁻¹)	94% at 3C	[28]
Espinela	LNM	LiNi _{1/2} Mn _{3/2} O ₄	3.5-5.0	123 mAh g ⁻¹ (1C = 147 mA g ⁻¹)	94% at 0.1C	[29]
Olivino	LFP	LiFePO ₄	3.0-3.5	160.5 mAh g ⁻¹ (1C = 147 mA g ⁻¹)	98.8% at 1C después de 150 ciclos	[30]

Para entender las propiedades electroquímicas entre los materiales tipo capa con respecto a otros materiales; se realizó un análisis comparativo de sus propiedades de capacidad de descarga inicial y retención de la capacidad.



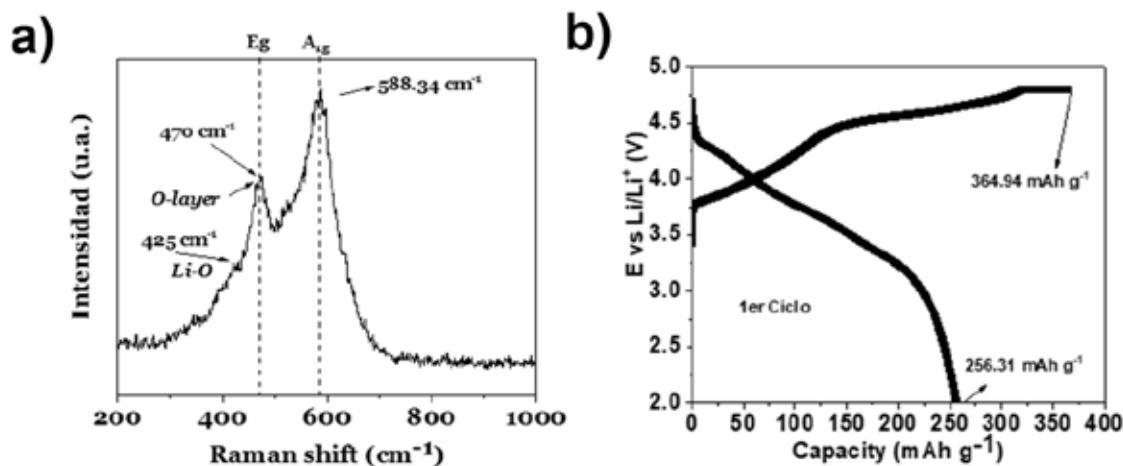


Figura 29. a) Espectro Raman de la estructura tipo capa de $\text{Li}_2\text{Mn}_{1.5}\text{Ni}_{0.3}\text{O}_2$ sintetizadas por el método de coprecipitación a 800°C durante 12 h. b) Se muestra el perfil de la primera carga-descarga realizados a 0.1C a 20°C ($1\text{C} = 200\text{mAh g}^{-1}$).

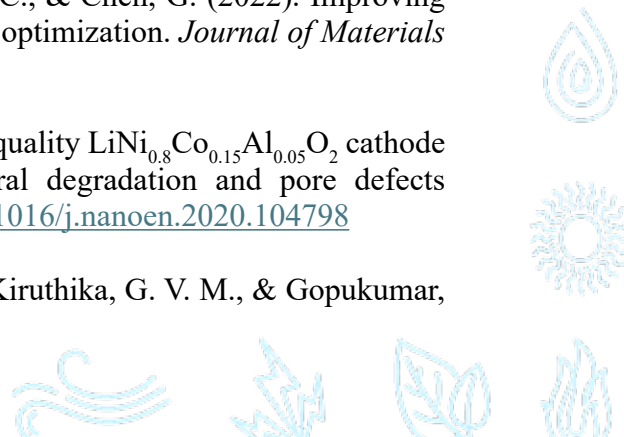
La Figura 29b confirma el excelente comportamiento electroquímico del material tipo capa rico en litio, el cual presenta una capacidad de descarga inicial de 256.31mAh g^{-1} durante la primera. La estructura se confirma mediante el espectro Raman (Figura 29a), en donde se observa que los modos de vibración E_g y A_g , son correspondiente de un material tipo capa con grupo espacial R-3m.

10.5 Referencias

[14] Kalluri, S., Yoon, M., Jo, M., Park, S., Myeong, S., Kim, J., Dou, S. X., Guo, Z., & Cho, J. (2017). Surface engineering strategies of layered LiCoO_2 cathode material to realize high-energy and high-voltage li-ion cells. *Advanced Energy Materials*, 7(1), 1601507. <https://doi.org/10.1002/AENM.201601507>

[15] Lyu, Y., Wu, X., Wang, K., Feng, Z., Cheng, T., Liu, Y., Wang, M., Chen, R., Xu, L., Zhou, J., Lu, Y., & Guo, B. (2021). An overview on the advances of LiCoO_2 cathodes for lithium-ion batteries. *Advanced Energy Materials*, 11(2), 2000982. <https://doi.org/10.1002/AENM.202000982>

- [16] Myung, S.-T., Maglia, F., Park, K.-J., Yoon, C. S., Lamp, P., Kim, S.-J., & Sun, Y.-K. (2016). Nickel-Rich layered cathode materials for automotive lithium-ion batteries: Achievements and perspectives. *ACS Energy Letters*, 2(1), 196–223. <https://doi.org/10.1021/ACSENERGYLETT.6B00594>
- [17] Lee, M.-H., Kang, Y.-J., Myung, S.-T., & Sun, Y.-K. (2004). Synthetic optimization of $\text{Li}[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{O}_2$ via co-precipitation. *Electrochimica Acta*, 50(4), 939–948. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2004.07.038>
- [18] Nitta, N., Wu, F., Lee, J. T., & Yushin, G. (2015). Li-ion battery materials: Present and future. *Materials Today*, 18(5), 252–264. <https://doi.org/10.1016/J.MATTOD.2014.10.040>
- [19] Ohzuku, T., & Makimura, Y. (2001). Layered lithium insertion material of $\text{LiNi}_{1/2}\text{Mn}_{1/2}\text{O}_2$: A possible alternative to LiCoO_2 for advanced lithium-ion batteries. *Chemistry Letters*, 30(8), 744–745. <https://doi.org/10.1246/cl.2001.744>
- [20] Ohzuku, T., Ueda, A., & Kouguchi, M. (1995). Synthesis and characterization of $\text{LiAl}_{1/4}\text{Ni}_{3/4}\text{O}_2$ (R3m) for lithium-ion (shuttlecock) batteries. *Journal of The Electrochemical Society*, 142(12), 4033–4039. <https://doi.org/10.1149/1.2048458>
- [21] Bianchini, M., Roca-Ayats, M., Hartmann, P., Brezesinski, T., & Janek, J. (2019). There and back again—the journey of LiNiO_2 as a cathode active material. *Angewandte Chemie International Edition*, 58(31), 10434–10458. <https://doi.org/10.1002/ANIE.201812472>
- [22] Hu, G., Qi, X., Hu, K., Lai, X., Zhang, X., Du, K., Peng, Z., & Cao, Y. (2018). A facile cathode design with a $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_2$ core and an AlF_3 -activated $\text{Li}_{1.2}\text{Ni}_{0.2}\text{Mn}_{0.6}\text{O}_2$ shell for Li-ion batteries. *Electrochimica Acta*, 265, 391–399. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.01.176>
- [23] Xiong, X., Wang, Z., Yan, G., Guo, H., & Li, X. (2014). Role of V_2O_5 coating on LiNiO_2 -based materials for lithium ion battery. *Journal of Power Sources*, 245, 183–193. <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2013.06.133>
- [24] Zhang, J. C., Liu, Z. D., Zeng, C. H., Luo, J. W., Deng, Y. Da, Cui, X. Y., & Chen, Y. N. (2022). High-voltage LiCoO_2 cathodes for high-energy-density lithium-ion battery. In *Rare Metals* (Vol. 41, Issue 12), 3946–3956. <https://doi.org/10.1007/s12598-022-02070-6>
- [25] Kim, M., Zou, L., Son, S.-B., Bloom, I. D., Wang, C., & Chen, G. (2022). Improving LiNiO_2 cathode performance through particle design and optimization. *Journal of Materials Chemistry A*, 10(24). <https://doi.org/10.1039/d2ta02492f>
- [26] Gao, T.-P., Wong, K. W., & Ng, K. M. (2020). High-quality $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$ cathode with excellent structural stability: Suppressed structural degradation and pore defects generation. *Nano Energy*, 73, 104798. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.104798>
- [27] Nithya, C., Thirunakaran, R., Sivashanmugam, A., Kiruthika, G. V. M., & Gopukumar,



S. (2009). High-capacity sol-gel synthesis of $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_{1-x-y}\text{O}_2$ ($0 \leq x, y \leq 0.5$) cathode material for use in lithium rechargeable batteries. *Journal of Physical Chemistry C*, 113(41), 17936–17944. <https://doi.org/10.1021/jp907036a>

[28] Ding, Y.-L., Xie, J., Cao, G.-S., Zhu, T.-J., Yu, H.-M., & Zhao, X.-B. (2011). Single-crystalline LiMn_2O_4 nanotubes synthesized via template-engaged reaction as cathodes for high-power lithium ion batteries. *Advanced Functional Materials*, 21(2), 348–355. <https://doi.org/10.1002/adfm.201001448>

[29] Cabana, J., Zheng, H., Shukla, A. K., Kim, C., Battaglia, V. S., & Kunduraci, M. (2011). Comparison of the performance of $\text{LiNi}_{1/2}\text{Mn}_{3/2}\text{O}_4$ with different microstructures. *Journal of The Electrochemical Society*, 158(9), A997–A1004. <https://doi.org/10.1149/1.3606570>

[30] Li, Y., Wang, L., Zhang, K., Yao, Y., & Kong, L. (2021). Optimized synthesis of LiFePO_4 cathode material and its reaction mechanism during solvothermal. *Advanced Powder Technology*, 32(6), 2097–2105. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2021.04.019>



11. Variabilidad espacio-temporal de índices extremos de precipitación en Centro-América (Nicaragua)

Ruth Mendez-Rivas^{1,*}; Maycol F. Mena Palacios²; Reiner Palomino Lemus²

¹ *Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios Ambientales, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua*

² *Centro de Investigación en Energías Renovables y Climatología, Universidad Tecnológica del Chocó, Quibdó, Colombia.*

**mendez.rivas.ruth@gmail.com*

11.1 Resumen

Las altas precipitaciones, pueden generar desastres naturales, como inundaciones, con consecuencias graves para las personas y sus medios de subsistencia. Los países de Latinoamérica muestran una alta sensibilidad y vulnerabilidad ante estos eventos, principalmente debido al cambio climático y el calentamiento global.

En este estudio, se presenta un análisis espacio-temporal de los índices extremos de precipitación y su relación con patrones a gran escala, como el ENSO y otros. Se utilizaron bases de datos en superficie, satelitales y reanálisis (GPCC, IMERG y CHIRPS) para estimar nueve índices extremos de precipitación (Rx1day, Rx5day, SDII, RR, R10, R20, CDD, CWD y R95pTOT). Se analizaron los campos medios, tendencias mediante las pruebas de Sen y Mann-Kendall, y la correlación con índices de teleconexión.

La distribución espacio-temporal de los campos medios de los índices extremos revela promedios más altos en la zona pacífica de Nicaragua, con una tendencia negativa. Los datos del CHIRPS muestran un mejor ajuste al tratar con eventos de precipitación los cuales no superan ciertos umbrales; mientras que el IMERG mejora al describir patrones de eventos de precipitación intensa.

Palabras clave: Variabilidad climática; Precipitación; Nicaragua.



11.2 Introducción

América Latina es una región altamente sensible y vulnerable ante la variabilidad climática y el cambio climático, especialmente en los países de Centroamérica [31, 32], que se encuentran rodeados por el Mar Caribe, el Pacífico Tropical y el Golfo de México. Estos países están constantemente expuestos a sequías, inundaciones, huracanes y deslizamientos de tierra [31, 33, 34].

En particular, naciones centroamericanas como Nicaragua y Honduras figuran entre los 10 países más afectados por eventos climáticos entre 1998 y 2017, según el Índice de Riesgo del Cambio Climático Global [35]. Además, diversas investigaciones han revelado cambios significativos en los extremos de precipitación a nivel mundial, incluso en áreas donde no se evidencian variaciones notables en los promedios de precipitación [36, 37].

Por otro lado, los modelos climáticos globales no logran representar adecuadamente la microfísica de la precipitación en países como Nicaragua, generando así una alta incertidumbre en las proyecciones de eventos climáticos extremos a escala regional, especialmente en áreas con fisiografías complejas.

En este contexto, se presenta un análisis espacio-temporal de la variabilidad de los índices extremos de precipitación en Nicaragua y su relación con patrones de gran escala. Aunque se han llevado a cabo diversas investigaciones sobre la frecuencia, duración e intensidad de los extremos climáticos a diferentes escalas [38-41], estas aún no han logrado identificar una tendencia clara hacia el aumento de la humedad y presentan cambios regionales notoriamente diferentes en cuanto al número máximo de días secos consecutivos [36]. Es importante destacar que los extremos de precipitación a nivel global están en aumento, incluso en regiones que experimentan una reducción o ausencia de cambios en la media de precipitación.

11.3 Metodología

El estudio se llevó a cabo en Nicaragua, en la región limitada por las coordenadas 15 °N – 11° S y 83 °E – 88 °O. Se seleccionaron cuatro estaciones en superficie distribuidas en el territorio para obtener datos de precipitación. Además, se utilizaron datos en rejilla de GPCC, IMERG y CHIRPS. Los nueve índices de precipitación elegidos comprenden el número de días con precipitación fuerte (R10), el número de días con precipitación muy fuerte (R20), número de días secos consecutivos (CDD), número de días húmedo-consecutivos (CWD), precipitación consecutiva de un día (RX1day), precipitación consecutiva de cinco días (RX5day), el índice de intensidad de precipitación simple



(SDII) y la precipitación total anual cuando la precipitación diaria supera el percentil 95, definidos por el Equipo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI, por sus siglas en inglés, <http://etccdi.pacificclimate.org/>). Para estos índices, se llevó a cabo un análisis espacio-temporal anual y estacional. Además, se aplicaron las pruebas de Sen y Mann-Kendall para estimar la pendiente y significancia, con un nivel de confianza del 95%. Finalmente, se determinó la correlación espacial de los índices extremos con patrones de teleconexión a gran escala.

11.4 Resultados

Se validaron los datos satelitales y reanálisis para la estimación de índices extremos de precipitación en Nicaragua (Figura 30). Las tendencias de los períodos de sequía son estacionarias, sin un aumento o disminución significativa. La cobertura espacial de la zona con el mayor número de días secos (CDD) corresponde al área del Pacífico, con valores de más de 120 días continuos.

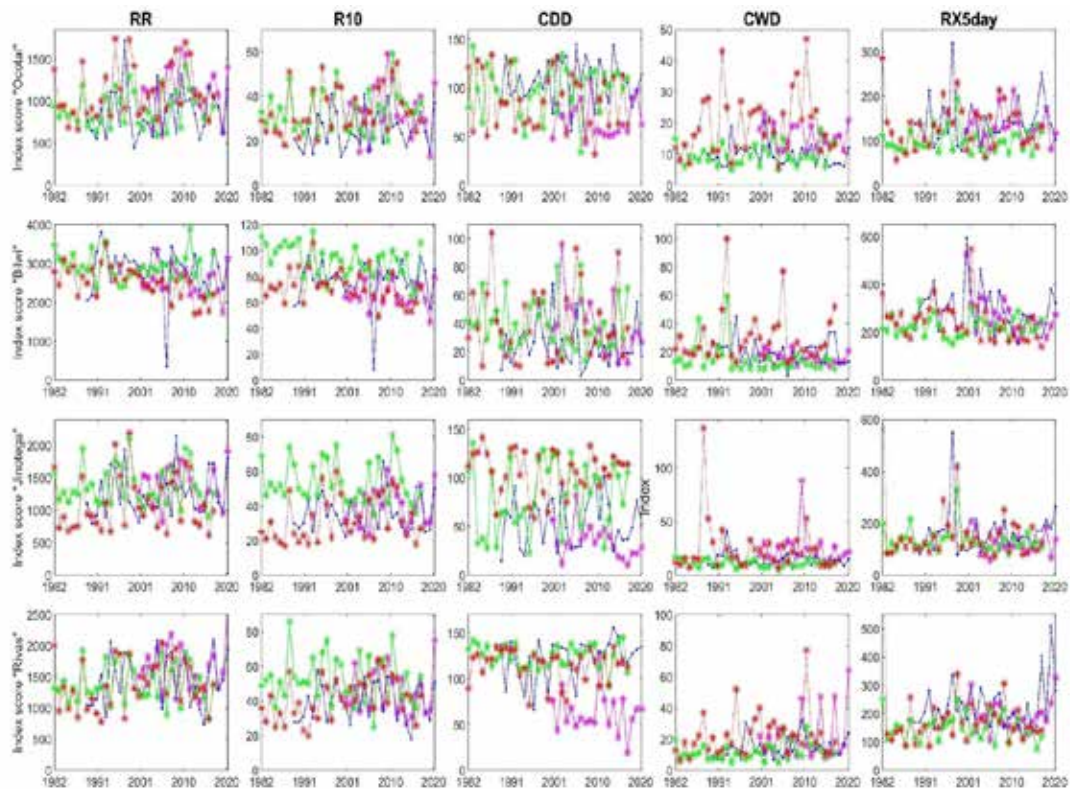


Figura 30. Distribución temporal de cinco eventos de precipitación en cuatro pluviómetros ubicados en el Pacífico, Centro y Atlántico de Nicaragua para el periodo comprendido entre 1982 y 2020, según disponibilidad de datos. La línea roja representa los datos del GPCC.

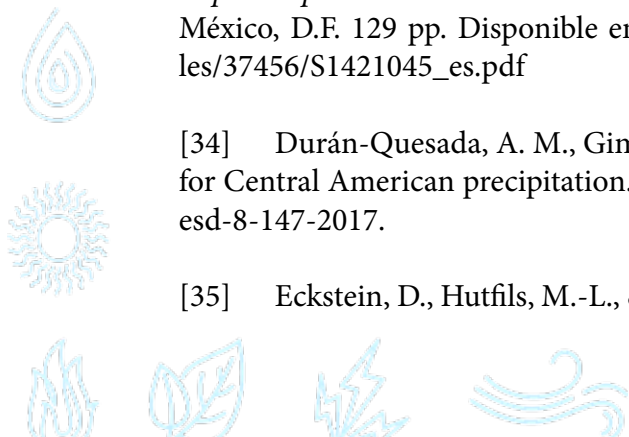


Los índices de eventos de precipitación, como R95TOT y RR, muestran una tendencia significativa a la disminución, sugiriendo que la zona de estudio ha experimentado un clima más seco a lo largo del período de investigación. Durante la fase de estudio, se encontró que los índices R10 y R20 presentan una tendencia creciente estadísticamente significativa en la zona del Pacífico, resultados consistentes con la mayor recurrencia de tormentas tropicales y huracanes. Por otro lado, se ha observado una disminución en la zona del Atlántico. Sin embargo, en términos de magnitud, se encontró valores de hasta 160 días (R10) y 90 días (R20), revelando que la región con el período más largo expuesto a eventos de precipitación intensa es la zona del Atlántico, lo que podría estar asociado con episodios de monzones.

Las evidencias presentadas como resultado de esta investigación son importantes para la caracterización del clima local, especialmente debido a la falta de investigaciones desarrolladas en este campo para la zona de estudio.

11.5 Referencias

- [31] Imbach, P., Beardsley, M., Bouroncle, C., Medellín, C., Läderach, P., Hidalgo, H., ... & Donatti, C. I. (2017). Climate change, ecosystems and smallholder agriculture in Central America: an introduction to the special issue. *Climatic Change*, 141, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-1920-5>.
- [32] Xu, L., Wang, A., Wang, D., & Wang, H. (2019). Hotspots of climate extremes in the future. *J. Geophys. Res. Atmospheres*, 124(6), 3035–3049. <https://doi.org/10.1029/2018JD029980>.
- [33] CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) y CAC/SICA (Consejo Agropecuario Centroamericano del Sistema de la Integración Centroamericano). (2014). *Impactos potenciales del cambio climático sobre el café en Centroamérica*. LC/MEX/L.1169, México, D.F. 129 pp. Disponible en: https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/37456/S1421045_es.pdf
- [34] Durán-Quesada, A. M., Gimeno, L., & Amador, J. (2017). Role of moisture transport for Central American precipitation. *Earth Syst. Dyn.*, 8(1), 147–161. <https://doi.org/10.5194/esd-8-147-2017>.
- [35] Eckstein, D., Hutflits, M.-L., & Wings, M. (2017). *Global climate risk index 2019*. Who



suffers most from extreme weather events? Weather-related loss events in 2017 and 1998 to 2017. Germanwatch, Berlin. 36 pp. Disponible en: <https://www.burmalibrary.org/sites/burmalibrary.org/files/obl/GLOBAL-CLIMATE-RISK-INDEX-2019-en.pdf>

[36] Santos, M., Fonseca, A., Frago, M., & Santos, J. A. (2019). Recent and future changes of precipitation extremes in mainland Portugal. *Theor. Appl. Climatol.*, 137, 1305–1319. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2667-2>.

[37] Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Clim. Res.*, 47(1), 123–138. <https://doi.org/10.3354/cr00953>.

[38] Baltacı, H., Akkoyunlu, B. O., & Tayanç, M. (2017). Relationships between teleconnection patterns and Turkish climatic extremes. *Theor. Appl. Clim.*, 134, 1365–1386. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2350-z>.

[39] Mathbout, S., Lopez-Bustins, J. A., Royé, D., Martin-Vide, J., Bech, J., & Rodrigo, F. S. (2017). Observed changes in daily precipitation extremes at annual timescale over the eastern mediterranean during 1961–2012. *Pure Appl. Geophys.*, 175(11), 3875–3890. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1695-7>.

[40] Santos, M., & Frago, M. (2013). Precipitation variability in Northern Portugal: Data homogeneity assessment and trends in extreme precipitation indices. *Atmospheric Res.*, 131, 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.04.008>.

[41] Yin, Y., Chen, H., Zhai, P., Xu, C.-Y., & Ma, H. (2019). Characteristics of summer extreme precipitation in the Huai River basin and their relationship with East Asia summer monsoon during 1960–2014. *Int. J. Climatol.*, 39(3), 1555–1570. <https://doi.org/10.1002/joc.5900>.



12. Desarrollo de recubrimientos para mitigar los efectos abrasivos de las partículas suspendidas en el agua en la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables de turbinas hidráulicas

Ariel Arroyo Heredia^{a,b,1}; Jorge Andrés Calderón Gutierrez^{b,2}; Ferley Alejandro Vásquez Arroyave^{b,3}

^aFacultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil, Grupo de Investigación en Energías Renovables y Meteorología – GIERMET), Universidad Tecnológica del Chocó.

^bFacultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Materiales, Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales – CIDEMAT); Universidad de Antioquia.

¹Ingeniero civil, est. mgtr. ing. materiales. ariel.arroyo@udea.edu.co

²Ingeniero metalúrgico, mgtr en ciencias química, doctor en ciencias de materiales y metalúrgica. andres.calderon@udea.edu.co

³Ingeniero de materiales, doctor en ingeniería de materiales. ferley.vasquez@udea.edu.co

12.1 Resumen

Las turbinas hidráulicas son un componente fundamental del sistema hidroenergético. Sus partes están constituidas de aceros inoxidables las cuales se caracterizan por la formación de capas pasivas de aleantes para su protección a la corrosión. En la interacción de las turbinas con las partículas suspendidas en el agua, estas últimas actúan como agentes abrasivos removiendo la capa pasiva del acero, modificando la superficie y su protección a la corrosión generando un aumento en las vibraciones del sistema, disminución en la eficiencia y agravando los problemas de corrosión y cavitación. Para la solución de estos problemas se han utilizado recubrimientos aplicados por técnicas de proyección térmica, pero la rugosidad característica de esta técnica podría condicionar la eficiencia del sistema, lo que conlleva a la aplicación de recubrimientos mediante técnicas como electrodeposición y pulverización catódica por magnetron sputtering que pueden ofrecer buena homogeneidad, baja rugosidad, buenas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión.

Palabras clave: Recubrimientos; Corrosión; Turbinas hidráulicas



12.2 Metodología

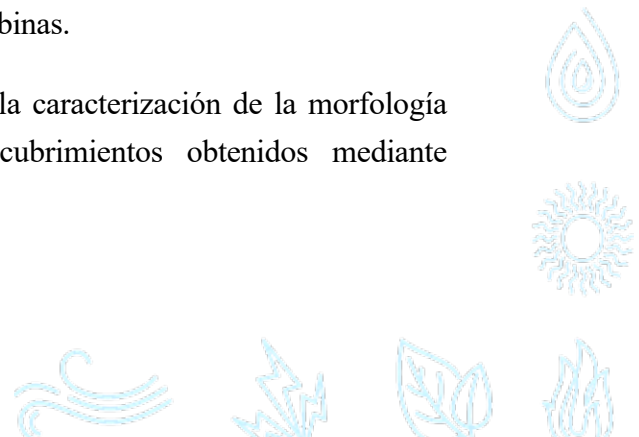
En el presente trabajo de investigación se plantean los siguientes objetivos: 1) Mejorar la deposición de los recubrimientos base Ni y Ti sobre sustratos de aceros mediante el control de los parámetros del proceso para obtener recubrimientos de buena adherencia y homogeneidad [42]. 2) Evaluar la resistencia a la corrosión-erosión del sustrato de acero inoxidable con recubrimientos duros obtenidos por electrodeposición y pulverización catódica por magnetrón sputtering para determinar la calidad de los recubrimientos desarrollados [43]. 3) Establecer el mecanismo de protección a la corrosión-erosión de los recubrimientos en ambientes de cloruros, para definir estrategias que permitan incrementar la vida útil de los aceros usados en las turbinas hidráulicas [44-45].

12.3 Resultados

Se logró obtener recubrimientos protectores de Ni, Ni-SiC y Ni-Al₂O₃ mediante la técnica de electrodeposición; mientras que por pulverización catódica por magnetrón sputtering se obtuvo el recubrimiento de TiN. Para la primera técnica, se establecieron inicialmente parámetros basados en la revisión de la literatura, posteriormente se ajustaron estos parámetros con el objetivo de lograr las características deseadas en los recubrimientos. En el caso de la segunda técnica, se llevó a cabo el depósito del recubrimiento utilizando parámetros establecidos en otras investigaciones.

Todos los recubrimientos desarrollados se sometieron a un ambiente de corrosión-erosión, donde se llevaron a cabo pruebas de impedancia electroquímica y polarización potenciodinámica para su caracterización. En los resultados de estas pruebas se pudo evidenciar un mejoramiento en el comportamiento a la corrosión-erosión del acero de las turbinas.

Además de la caracterización electroquímica, se realizó la caracterización de la morfología y composición elemental por SEM-EDS de los recubrimientos obtenidos mediante electrodeposición.



12.4 Referencias

- [42] Sharma, V., Kaur, M., & Bhandari, S. (2019). Development and characterization of high-velocity flame sprayed Ni/TiO₂/Al₂O₃ coatings on hydro turbine steel. *Journal of Thermal Spray Technology*, 28, 1379–1401. <https://doi.org/10.1007/s11666-019-00918-5>.
- [43] Contreras, E., Galindez, Y., Rodas, M. A., Bejarano, G., & Gómez, M. A. (2017). CrVN/TiN nanoscale multilayer coatings deposited by DC unbalanced magnetron sputtering. *Surface and Coatings Technology*, 332, 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.07.086>.
- [44] Banbur-Pawłowska, S., Mech, K., Kowalik, R., & Zabinski, P. (2016). Analysis of electrodeposition parameters influence on cobalt deposit roughness. *Applied Surface Science*, 388, 805–808. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.04.005>.
- [45] Calderón, J. A., Henao, J. E., & Gómez, M. A. (2014). Erosion–corrosion resistance of Ni composite coatings with embedded SiC nanoparticles. *Electrochimica Acta*, 124, 190–198. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.08.185>.



13. Estudio de viabilidad técnica y económica de generación de hidrógeno verde en el Chocó

Elcy Disneth Serna Copete

*Estudiante de maestría en ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia.
Medellín, Colombia. elcy.serna@udea.edu.co; elcy.serna@utch.edu.co*

13.1 Resumen

La investigación se centra en evaluar el potencial de generación de hidrógeno verde a partir de fuentes renovables en el departamento del Chocó. Inicialmente, se realizó un diagnóstico de las posibilidades de energía renovable, enfocándose en solar e hidráulica como opciones prometedoras. La metodología abarcó revisiones exhaustivas de literatura, análisis detallados del potencial de diversas fuentes de energía y la selección de tecnologías específicas, como paneles solares y electrolizadores. En cuanto a los resultados, se destacan limitaciones en el potencial de biomasa y energía eólica, mientras que la solar e hidráulica se consideran altamente viables para la generación de energía renovable. Además, se está llevando a cabo un análisis económico comparativo de equipos para la producción de hidrógeno verde, así como una evaluación de la viabilidad del hidrógeno como gas para cocción. El siguiente paso implica la estimación de costos nivelados de energía, hidrógeno y almacenamiento en diversos escenarios, con el objetivo de analizar la viabilidad económica. Estas etapas permitirán desarrollar una estrategia integral para la implementación de un sistema de generación de hidrógeno verde en la región.

Palabras clave: Hidrógeno verde; Zonas no interconectadas; Energía renovable CAPEX; OPEX; LCOH; VAN.

13.2 Introducción

En respuesta a la creciente necesidad de abordar la crisis climática y avanzar hacia fuentes de energía sostenibles, esta investigación se sumerge en la evaluación del potencial de producción



de hidrógeno verde en el idílico departamento del Chocó, Colombia. La relevancia de este estudio se destaca en su enfoque integral, abordando desde antecedentes teóricos hasta la metodología empleada. Inspirada en la urgencia de encontrar soluciones ecoamigables. La investigación se basa en la revisión exhaustiva de literatura y el análisis detallado del potencial de fuentes renovables en el Chocó, destacando tendencias y desafíos. La propuesta no solo se limita a la evaluación del potencial, sino que también abarca la identificación de tecnologías específicas y la estimación de costos nivelados, con el objetivo final de proporcionar una estrategia viable y contextualizada para la generación de hidrógeno verde. Este enfoque se alinea con la temática del evento al presentar una solución concreta y contextualizada para la transición hacia una matriz energética más sostenible en el Chocó, una región estratégica que emerge como un escenario prometedor para la adopción de tecnologías de energía limpia. La metodología empleada, que incluye análisis económico comparativo y evaluación de la viabilidad del hidrógeno en aplicaciones específicas, promete contribuir significativamente a la discusión y aplicación práctica de soluciones sostenibles en la generación de energía regional.

13.3 Metodología

La metodología propuesta para la investigación sobre el potencial de hidrógeno verde en el departamento del Chocó, se basa en un enfoque integral. Comienza con revisiones exhaustivas de literatura y análisis detallados del potencial de fuentes energéticas renovables, centrándose en solar e hidráulica. Luego, se seleccionan tecnologías específicas, como paneles solares y electrolizadores [46, 47]. Un análisis económico comparativo evalúa la eficiencia y rentabilidad de los equipos utilizados en la producción de hidrógeno verde [48, 49]. Además, se examina la viabilidad del hidrógeno como gas para cocción, incorporando estufa y pipeta de hidrógeno. La siguiente fase implica la estimación de costos nivelados de energía, hidrógeno y almacenamiento en diversos escenarios, utilizando modelos económicos con variables tecnológicas, financieras y operativas. Este enfoque metodológico integral busca proporcionar una visión completa y precisa de la viabilidad técnico-económica de la implementación de tecnologías de hidrógeno verde en la región.



13.4 Resultados

La figura 31, presenta una comparación del potencial de fuentes de energía renovable en las cinco subregiones del departamento Chocó. Los recursos representados son eólicos, biomasa, solar e hidroenergético.

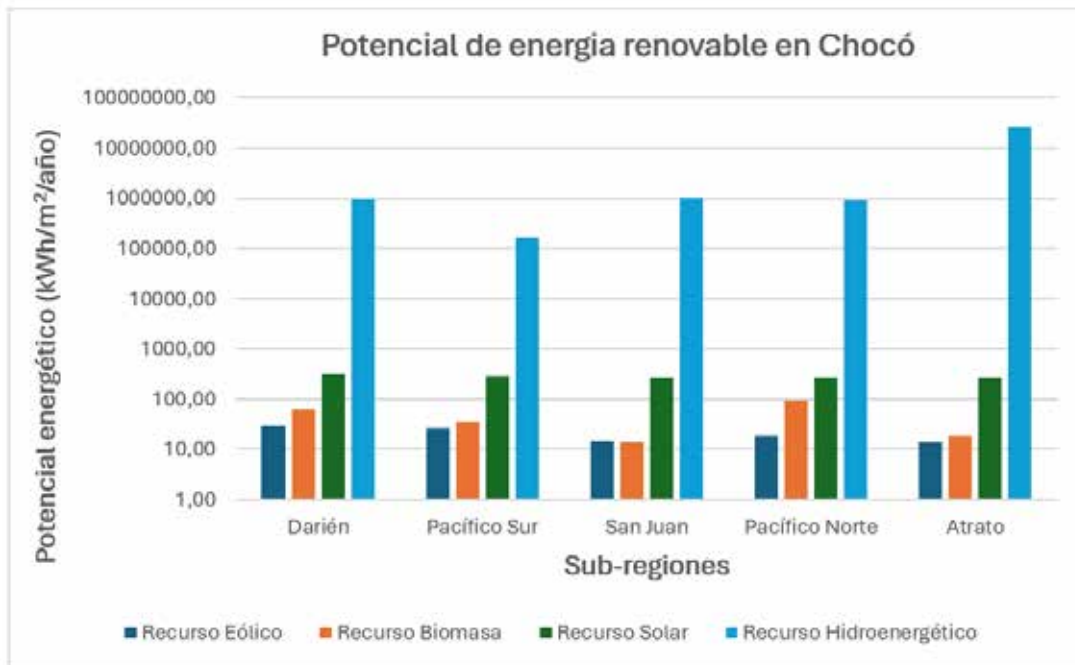


Figura 31. Potencial de energía renovable en Chocó. Fuente: Elaboración propia.

La subregión de Atrato sobresale por su alto potencial para la generación de energía a través del recurso hídrico 1×10^7 kWh/m²/año.

El recurso solar, muestra un potencial que puede ser aprovechable en todas las subregiones, aunque en una escala menor comparado con la hidroenergía. Sin embargo, a pesar de que la energía solar tiene un papel importante, la región podría estar más orientada hacia el aprovechamiento de sus recursos hídricos para la generación de energía renovable [50, 51]. El potencial eólico y de biomasa es relativamente moderado en todas las subregiones. Sin embargo, aún podrían desempeñar un papel complementario en una matriz energética diversificada para la región.

Respecto al uso de hidrogeno como vector energético, se cree que una familia promedio en Colombia consume alrededor de 10 kg de gas propano al mes para cocinar.



La figura 32, presenta un esquema de un sistema de producción de hidrógeno para cocinar, detallando cada etapa del proceso y los parámetros técnicos clave. Este sistema utiliza energía renovable, específicamente solar, y agua para generar hidrógeno, que luego se utiliza como combustible en lugar de gas propano para la cocción.

El proceso inicia con la recolección de agua, especificando un consumo de agua/mes de 288 litros. Esta agua es conducida a través de un sistema que tiene una conductividad de 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que indica que ésta tiene un bajo nivel de impurezas y sales disueltas, lo cual la convierte apropiada para la electrólisis.

El sistema de energía solar constó de 5 paneles de 450 W que producen un promedio mensual de 197 kWh, asumiendo 4 horas de pico solar diario (HPS). Esta energía es convertida y regulada a través de un dispositivo DC-DC de 3 kW, generando un promedio diario de 6,6 kWh/día.

El corazón del sistema fue un electrólizador AEM (membrana de intercambio aniónico), que utiliza la electricidad para descomponer el agua en oxígeno e hidrógeno. La tasa de producción de este sistema es de 3.70 kg/mes de hidrógeno, con una presión de operación de 4 bar y un caudal de 0.4 l/h.

El hidrógeno producido se almacenó a un volumen de 1298 L y a una presión de 35 bar. Luego, se utilizó para cocinar, reemplazando el uso de gas propano. El consumo medio de gas propano que se reemplazó fue de 10 kg/mes. El esquema compara el poder calorífico del hidrógeno, que es de 33.33 kWh/kg, lo que indica una equivalencia energética entre el hidrógeno producido y el propano desplazado.



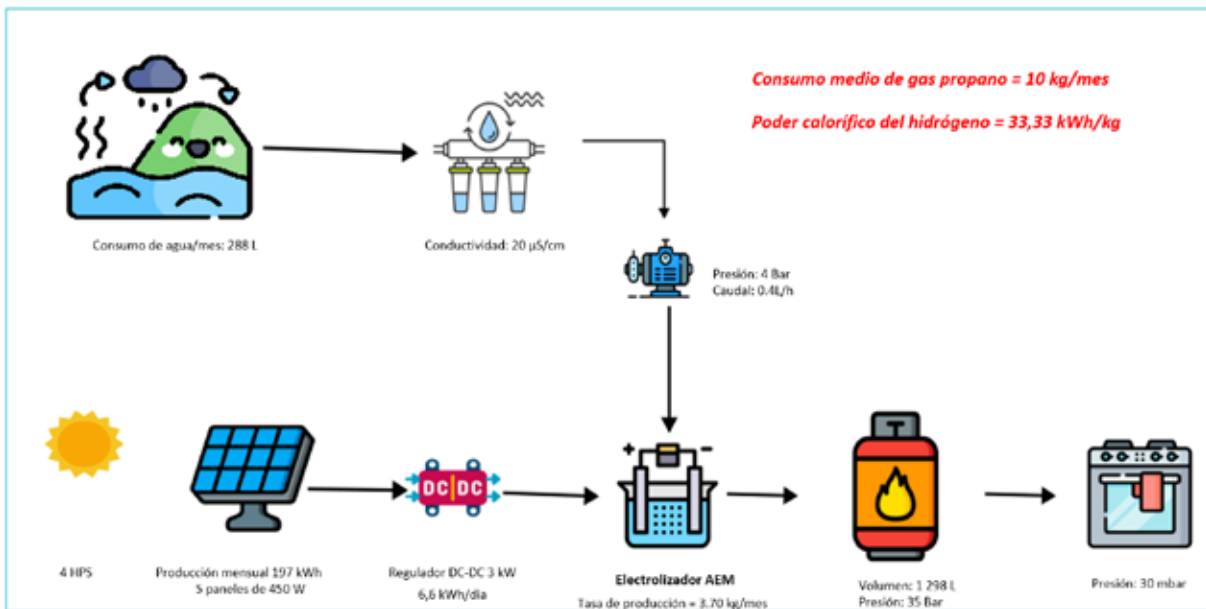


Figura 32. Esquema de producción de hidrógeno para cocinar

Trabajo futuro:

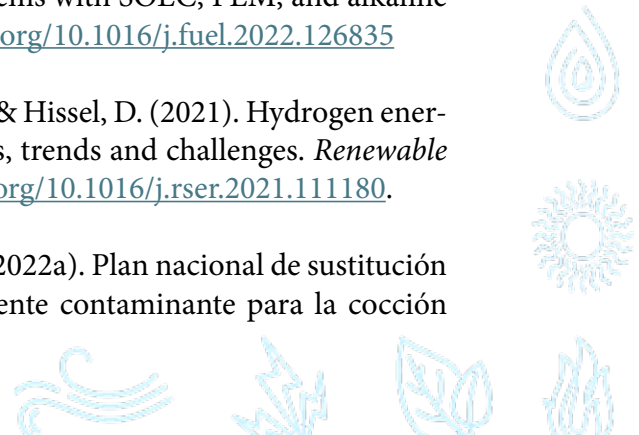
- Realizar análisis económico comparativo de los equipos utilizados en el proceso de producción de hidrógeno verde. Este enfoque permitirá identificar las opciones más eficientes y rentables para la generación de hidrógeno.
- Refinar y ajustar el modelo con datos más específicos.
- Efectuar simulaciones para evaluar la viabilidad económica en diversas condiciones

13.5 Referencias

[46] Mohebbali Nejadian, M., Ahmadi, P., & Houshfar, E. (2023). Comparative optimization study of three novel integrated hydrogen production systems with SOEC, PEM, and alkaline electrolyzer. *Fuel*, 336, 126835. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126835>

[47] Yue, M., Lambert, H., Pahon, E., Roche, R., Jemei, S., & Hissel, D. (2021). Hydrogen energy systems: A critical review of technologies, applications, trends and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 146, 111180. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111180>.

[48] UPME (Unidad de Planeación Minero Energética). (2022a). Plan nacional de sustitución de leña y otros combustibles de uso ineficiente y altamente contaminante para la cocción



doméstica de alimentos. Bogotá, D. C., Colombia. 80 pp. Disponible en: https://www1.upme.gov.co/sipg/Publicaciones_SIPG/Tomo_I_Formulacion_PNSL_dic2.pdf.

[49] UPME (Unidad de Planeación Minero Energética). (2022b). Proyección demanda energía eléctrica, gas natural y combustibles líquidos. Virreira Avila, M. M., & Proyectos Inversión, D. DE. (2020). Evaluación financiera Métodos y aplicaciones.

[50] IPSE y CNM (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas, y Centro Nacional de Monitoreo). (2023). Informe mensual de telemetría. Boletín mensual de operación de localidades con telemetría.

[51] Banguero, E., Aristizábal, A. J., Habib, A., & Ospina, D. (2019). Experimental investigation and optimal power flow modelling of the first renewable microgrid in Chocó, Colombia. *Energy Procedia*, 157, 953–965. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.262>.



14. Los semilleros de investigación en los procesos de formación

Nancy González Ramírez; Edison Banguero Palacios

*Facultad de Educación, Programa de Matemáticas, Grupo de Investigación en Energías Renovables y Meteorología – GIERMET, Universidad Tecnológica del Chocó
d-nancy.gonzales@utch.edu.co; d-edison.banguero@utch.edu.co*

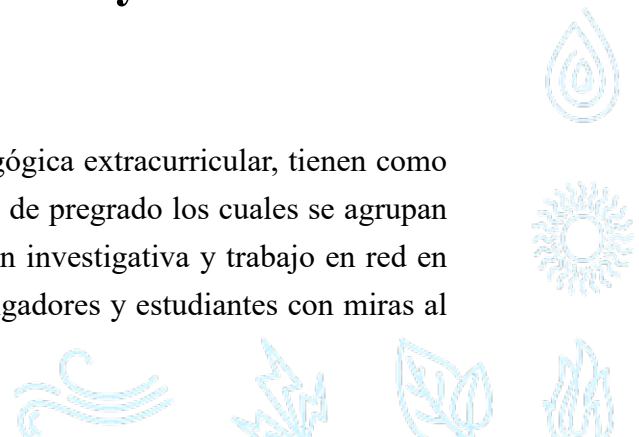
14.1 Resumen

Los semilleros de investigación juegan un rol crucial en la formación académica y profesional de los estudiantes de la Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luis Córdoba” UTCH. Estos grupos extracurriculares fomentan una cultura investigativa a través de la interacción entre profesores y estudiantes, incentivando la creatividad, el pensamiento crítico, la curiosidad, la innovación y el trabajo en equipo. Proporcionan experiencia práctica en investigación y una red de contactos profesionales. En Colombia, han contribuido al desarrollo de proyectos exitosos en diversos campos, como la biotecnología, las ciencias de la salud, la agroindustria entre otras áreas investigativas. El Semillero de Investigación en Física Aplicada, en particular, es un ejemplo destacado dentro de la UTCH. Vinculado al Grupo de Investigación en Energías Renovables y Meteorología (GIERMET), este semillero se ha establecido como un núcleo de conocimiento aplicado, orientando su trabajo hacia la física y las energías renovables.

Palabras clave: Semilleros de investigación; Física aplicada; RedCOLSI.

14.2 Los semilleros de investigación y su rol en los procesos de formación

Los semilleros de investigación son una estrategia pedagógica extracurricular, tienen como finalidad fomentar la cultura investigativa en estudiantes de pregrado los cuales se agrupan para desarrollar actividades que conlleven a la formación investigativa y trabajo en red en donde se propicie la interacción entre profesores, investigadores y estudiantes con miras al



fortalecimiento de la excelencia académica [52]. De esta forma, el semillero es una comunidad de aprendizaje donde confluyen los estudiantes de las diferentes profesiones y disciplinas con el propósito de buscar una formación integral [53].

La creatividad también florece en estos espacios, donde se alienta la exploración de nuevas ideas y enfoques innovadores. Al estimular la curiosidad intelectual y la experimentación, los semilleros inspiran a los estudiantes de la Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luis Córdoba” a desafiar supuestos establecidos y buscar soluciones originales a los desafíos que enfrenta su entorno. Además, al fomentar la participación activa desde las etapas iniciales de la formación, se promueve una cultura académica sólida y se sientan las bases para una comunidad comprometida con el avance del conocimiento. Por lo tanto, el papel de los semilleros es fundamental en los procesos de formación en varios aspectos:

14.3 Iniciación en la investigación

Los semilleros permiten que los estudiantes, desde temprano en su carrera académica, se involucren en actividades de investigación. Esto incluye desde la formulación de preguntas de investigación hasta la realización de proyectos concretos.

14.4 Desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y análisis

Al participar en investigaciones, los estudiantes desarrollan habilidades analíticas y críticas, aprenden a evaluar la literatura existente, y a formular argumentos y conclusiones basados en datos.

14.5 Fomento de la curiosidad y la innovación

Los semilleros son espacios que estimulan la curiosidad intelectual y promueven la innovación, animando a los estudiantes a explorar nuevas ideas y enfoques en sus campos de estudio.

14.6 Experiencia práctica y aplicada

A través de los semilleros, los estudiantes obtienen experiencia práctica en métodos de investigación, permitiéndoles aplicar lo aprendido en sus clases de manera concreta y tangible.

14.7 Colaboración y trabajo en equipo

Estos grupos fomentan la colaboración y el trabajo en equipo, habilidades cruciales en el ámbito académico y profesional.

14.8 Red de contactos profesionales

Los semilleros también ofrecen la oportunidad de conectarse con profesores, investigadores y otros estudiantes interesados en áreas de investigación similares, ampliando así la red profesional de los participantes.

14.9 Algunos proyectos exitosos de los semilleros de investigación en Colombia

En Colombia, los semilleros de investigación han tenido varios proyectos exitosos; algunos de estos son:

Proyectos en biotecnología:

✓ **Diseño de productos capilares a partir de la pulpa del *Crescentia cujete* L. (totumo):** el objetivo del proyecto fue desarrollar productos para el cabello utilizando la pulpa del fruto *Crescentia cujete* L. (conocido como totumo), con la intención de determinar el mejor método de procesamiento para extraer compuestos útiles y emplearlos en la creación de tratamientos capilares [54].



Investigaciones en ciencias de la salud:

✓ **Desarrollo de un método de clasificación de productos naturales a base de Cannabis medicinal mediante espectroscopía 2t2d y quimiometría:** en este estudio, se emplearon técnicas de espectroscopía ultravioleta (UV) y de infrarrojo transformada de Fourier con reflectancia total atenuada (FT-IR-ATR), en conjunto con el análisis de componentes principales (PCA), para categorizar aceites comerciales de Cannabis medicinal. Además, para estimar la cantidad de cannabidiol (CBD) en las muestras, se recurrió al método de análisis de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS), utilizando la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) como el método de referencia [55].

Investigaciones en agroindustria:

✓ **Aprovechamiento agroindustrial de los residuos de la post-cosecha del café y cacao de la sierra nevada de Santa Marta:** este proyecto fue diseñado para transformar los desechos agroindustriales resultantes de la postcosecha del café y del cacao en la Sierra Nevada de Santa Marta. El objetivo es reducir la contaminación ambiental provocada por las cáscaras de estos cultivos, las cuales han estado perjudicando las fuentes de agua, agotando los minerales del suelo, propagando vectores y dañando la fauna local. La iniciativa propone reciclar estos residuos para crear nuevos productos, como vino elaborado a partir de las cáscaras de café y cacao, entre otras posibles aplicaciones [56].

14.10 Semillero de Investigación en Física Aplicada

El Semillero de Investigación en Física Aplicada, vinculado al Grupo de Investigación en Energías Renovables y Meteorología - GIERMET de la Universidad Tecnológica de la Chocó (UTCH), representa un pilar fundamental en la generación de conocimiento aplicado y formación de futuros profesionales altamente capacitados en el campo de física y energías renovables.

El Grupo de Investigación en Energías Renovables y Meteorología - GIERMET, se ha consolidado como un referente en el desarrollo de proyectos de investigación que buscan soluciones innovadoras y sostenibles para los desafíos energéticos actuales. La colaboración



estrecha entre profesores, investigadores y estudiantes ha permitido la creación de un entorno propicio para la indagación científica e implementación de tecnologías limpias.

En cuanto a las áreas de trabajo, el semillero se enfoca en investigaciones relacionadas con la aplicación de principios de la física, en el diseño, desarrollo y optimización de sistemas de energías renovables. Esto incluye el estudio de energía solar, eólica, aprovechamiento del recurso hídrico como vector energético, entre otras. Los miembros del semillero participan activamente en la realización de experimentos, análisis de datos y modelado computacional para mejorar la eficiencia y viabilidad económica de estas fuentes de energía.

Un aspecto distintivo del Semillero de Investigación en Física Aplicada es su compromiso con la transferencia de conocimiento a la comunidad. A través de jornadas de apropiación social del conocimiento, el semillero organiza eventos, talleres y charlas dirigidas a diversos públicos, desde estudiantes hasta profesionales y comunidad en general (Figura 33). Estas actividades buscan sensibilizar sobre la importancia de las energías renovables, así como compartir los avances científicos y tecnológicos logrados por el grupo de investigación.



Figura 33. Jornadas de apropiación social del conocimiento.

Además, el semillero participa activamente en proyectos de extensión que tienen como objetivo llevar las soluciones y conocimientos desarrollados a comunidades locales, contribuyendo así al desarrollo sostenible y a la mejora de la calidad de vida. Esta iniciativa



fortalece el vínculo entre la academia y sociedad, promoviendo un enfoque integral de la investigación en física aplicada.

De igual forma, el semillero de investigación en mención ha participado en eventos de transferencia de conocimiento, como el realizado por la fundación red colombiana de semilleros de investigación - RedCOLSI (Figura 34).



Figura 34. Participación en el IV encuentro departamental de semilleros de investigación, nodo Chocó.

14.11 Referencias

[52] Fundación Red Colombiana de Semilleros de Investigación - RedCOLSI. (2009). Fomentando la formación investigativa. Recuperado en internet: <http://www.fundacionredcolsi.org/>

[53] Echeverry, G. E. (2003). La estrategia de los semilleros de investigación como un aporte a la formación investigativa en los estudiantes universitarios. *Revista Brocal.*, 3(5).

[54] Gutiérrez García, A. C., Taborda Oliveros, L., & Merino, L. (2023). Diseño de productos capilares a partir de la pulpa del *Crescentia cujete* L. (totumo). Universidad del Atlántico. En: Fundación Red Colombiana de Semilleros de Investigación – RedCOLSI y Herrera-Galeano, L. M. (Ed.). *Memorias XXVI Encuentro Nacional y XX Encuentro Internacional de Semilleros de Investigación ENISI 2023*: 42 pp. Editorial Red Colombiana de Semilleros

de Investigación RedCOLSI. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1hrJJ_5Amk-2maXATxyR94Z7fj1Z95-C4/view.

[55] Baza Meléndez, A., Gutiérrez Domínguez, M. L., & Mendoza Meza, D. L. (2023). Desarrollo de un método de clasificación de productos naturales a base de Cannabis medicinal mediante espectroscopía 2T2D y quimiometría. Universidad del Atlántico. En: Fundación Red Colombiana de Semilleros de Investigación – RedCOLSI y Herrera-Galeano, L. M. (Ed.). Memorias XXVI Encuentro Nacional y XX Encuentro Internacional de Semilleros de Investigación ENISI 2023: 82 pp. Editorial Red Colombiana de Semilleros de Investigación RedCOLSI. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1hrJJ_5Amk-2maXATxyR94Z7fj1Z95-C4/view.

[56] Matos Bado, A. K. (2023). Aprovechamiento agroindustrial de los residuos de la post-cosecha del café y cacao de la Sierra Nevada de Santa Marta. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA. En: Fundación Red Colombiana de Semilleros de Investigación – RedCOLSI y Herrera-Galeano, L. M. (Ed.). Memorias XXVI Encuentro Nacional y XX Encuentro Internacional de Semilleros de Investigación ENISI 2023: 63 pp. Editorial Red Colombiana de Semilleros de Investigación RedCOLSI. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1hrJJ_5Amk-2maXATxyR94Z7fj1Z95-C4/view.



15. Evaluación de los índices climáticos de precipitaciones extremas en la temporada seca de DEF en Colombia

Reiner Palomino Lemus; Edison Banguero Palacios; Samir Córdoba Machado

*Centro de Investigación en Energías Renovables y Climatología (CIERCLIMA)
Universidad Tecnológica del Chocó, Quibdó, Colombia.*

15.1 Resumen

El objetivo de este estudio fue analizar los efectos de las precipitaciones extremas en Colombia y su relación con el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) durante la temporada seca de diciembre-enero-febrero (DEF) en el período de 1982-2015. Se utilizaron índices extremos de precipitación calculados a partir de datos diarios del Centro Global de Climatología de la Precipitación (GPCC) y de 45 estaciones meteorológicas del IDEAM. El análisis de tendencia se realizó mediante la prueba no paramétrica de Mann-Kendall y el estimador de pendiente de Sen. Los resultados mostraron tendencias mixtas en los índices de precipitación extrema sobre las diferentes regiones del país, los patrones espaciales sugieren una variabilidad significativa influenciada por los índices de teleconexión tanto de los océanos Pacífico y Atlántico.

Palabras clave: Índices climáticos; Precipitación; Temporada seca; Colombia.

15.2. Introducción

La variabilidad climática y el cambio climático inducido por actividades humanas son actualmente reconocidos como desafíos ambientales, sociales y económicos significativos del siglo XXI. Estos fenómenos afectan de manera notable a países de América Latina y el Caribe, con Colombia destacándose como un país especialmente vulnerable, por su exposición, y a una amplia gama de eventos hidrometeorológicos extremos, tales como inundaciones y sequías [57 – 59]. En particular, la zona del pacifico colombiano, la cual

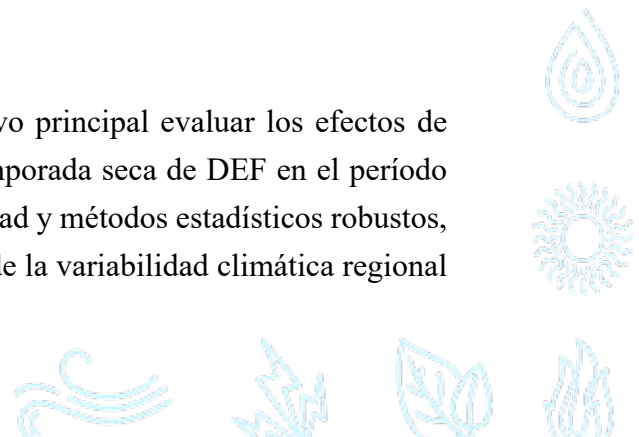


es susceptible a estos eventos debido a su posición geográfica, y cuyas características geomorfológicas e hidrológicas son únicas, las cuales, interaccionan de manera compleja con procesos atmosféricos y oceanográficos a diversas escalas espaciales y temporales [58]. Por otro lado, el estudio de los eventos climáticos extremos es crucial para entender y mitigar los impactos del cambio climático. A nivel global, los científicos han recurrido al uso de datos en cuadrícula para monitorear estos eventos, lo cual permite identificar patrones de comportamiento que no se pueden evidenciar fácilmente, mediante el uso de estaciones meteorológicas individuales [60]. En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) ha hecho contribuciones significativas en la caracterización de índices extremos de precipitación y temperatura, proporcionando una base sólida para el análisis del cambio climático en el país.

En este sentido, la temporada seca en Colombia, la cual corresponde a los meses de diciembre a febrero (DEF), representa un período crítico para el análisis de índices extremos de precipitación. En donde factores geográficos como la Cordillera de los Andes, la cuenca Amazónica y la Zona de Convergencia Intertropical (ZIC) juegan un papel crucial en la configuración del clima del país, generando condiciones atmosféricas y climáticas únicas en el planeta [61]. Además, los patrones de teleconexión asociados con los océanos Pacífico y Atlántico, particularmente el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), son determinantes en la variabilidad climática regional, afectando significativamente los índices de precipitación tanto húmedos como secos [58, 59].

Por otro lado, el análisis de los eventos extremos de precipitación durante la temporada seca de DEF en Colombia, es esencial para entender la dinámica climática en este período y su relación con los patrones de teleconexión. Para ello, este estudio se basa en el uso de datos de alta resolución espacial y temporal, permitiendo una evaluación detallada de las tendencias y variaciones en los índices extremos de precipitación y su correlación con fenómenos climáticos a gran escala [62]. A través de este análisis, se busca proporcionar información crítica para el desarrollo de estrategias de adaptación y mitigación frente a los desafíos del cambio climático en la región.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo principal evaluar los efectos de las precipitaciones extremas en Colombia durante la temporada seca de DEF en el período 1982-2015, utilizando datos de precipitación de alta calidad y métodos estadísticos robustos, cuyos resultados contribuirán a una mejor comprensión de la variabilidad climática regional



y global, ofreciendo bases sólidas para futuras investigaciones.

15.3. Metodología

15.3.1 Descripción del área de estudio

Este estudio se centra en Colombia, el cual se encuentra ubicado en el extremo noroccidental de América del Sur, abarcando una franja tropical entre las latitudes 13°N y 4°S y las longitudes 80°W y 67°W, con una superficie de aproximadamente 1.141.748 km².

15.3.2 Datos de precipitación

Se utilizaron datos diarios de precipitación del Centro Global de Climatología de la Precipitación (GPCC), con una resolución de 0,5° x 0,5° de latitud y longitud. Adicionalmente, se emplearon datos diarios de 45 estaciones meteorológicas proporcionados por el IDEAM, que abarcan la temporada seca de diciembre-enero-febrero (DEF) en el período comprendido entre 1982-2015. Las series de datos del IDEAM fueron depuradas y homogenizadas. Se llevó a cabo una correlación entre los datos de las estaciones del IDEAM y los puntos de la cuadrícula del GPCC más cercanos, presentando coeficientes de correlación superiores a 0,8, indicando una fuerte correlación entre ambos conjuntos de datos.

15.3.3 Índices extremos de precipitación

Se utilizaron seis índices extremos de precipitación definidos por el Equipo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI). Estos índices incluyen 1) el número de días con precipitación fuerte (R10), 2) el número de días con precipitación muy fuerte (R20), 3) el número de días secos consecutivos (CDD), 4) el número de días húmedos consecutivos (CWD), 5) la máxima precipitación en cinco días (RX5day) y 6) el índice de intensidad de precipitación simple (SDII). Estos índices se calcularon utilizando datos diarios de precipitación y se emplearon para analizar las tendencias y variaciones en la precipitación



extrema en Colombia.

15.3.4 Análisis de datos

Para analizar las tendencias en los índices extremos de precipitación, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Kendall, que es adecuada para detectar tendencias en series temporales sin hacer suposiciones sobre la distribución de los datos. Además, se utilizó el estimador de pendiente de Sen para calcular la magnitud de las tendencias.

15.4 Resultados

15.4.1 Distribución espacial de los campos medios para los índices extremos de precipitación durante la temporada seca de DEF para el período 1982-2015 en Colombia

En la Figura 35, los valores más altos de R10 se observaron en la región del Pacífico colombiano, abarcando principalmente los departamentos del Chocó y Valle del Cauca, seguidos por una distribución algo más moderada en los departamentos del norte de Vichada y Guainía. Los promedios más bajos de R10 se registraron a lo largo de la cordillera de los Andes y en el norte del país, especialmente en La Guajira. Este patrón se repitió para los índices extremos R20, CWD, SDII y RX5day. En cuanto a la distribución espacial de CDD, los valores más altos se encontraron solamente en la parte norte del país, particularmente en el departamento de La Guajira, mientras que en el sur de la cordillera de los Andes se observaron promedios más moderados.



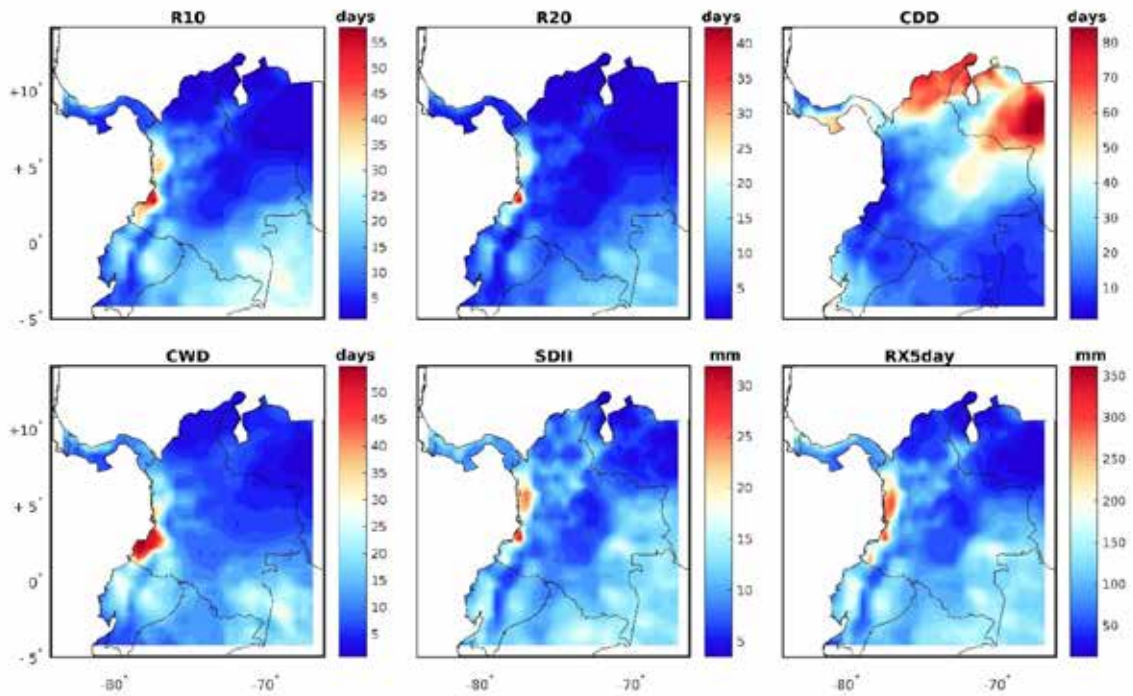


Figura 35. Distribución espacial de los campos medios para los índices extremos de precipitación R10, R20, CDD, CWD, SDII y RX5day durante la temporada seca de DEF para el período 1982-2015 en Colombia.

15.4.2 Distribución espacial de las tendencias de los índices extremos de precipitación en Colombia durante la temporada seca de DEF para el período 1982-2015

En la Figura 36, los puntos negros indican aquellas zonas/lugares que presentan calores donde las tendencias son estadísticamente significativas, para un nivel de significancia del 5% (coeficiente de Z-Kendall).



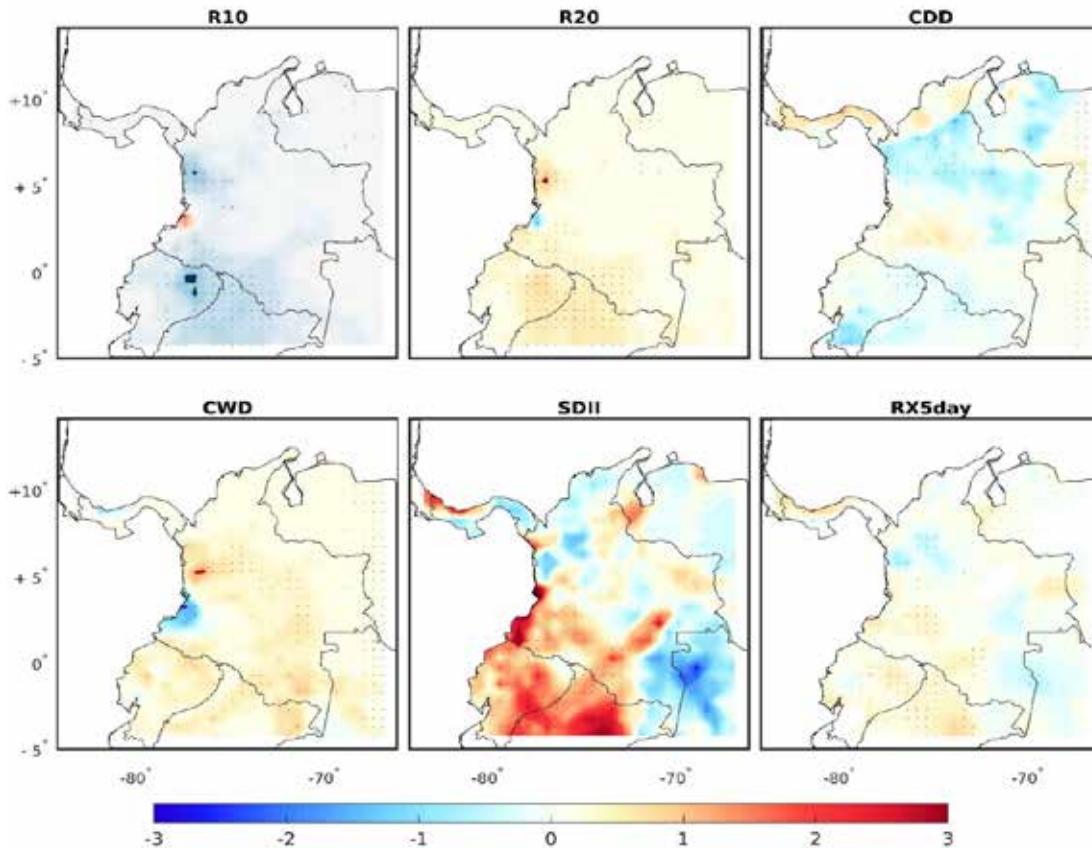


Figura 36. Distribución espacial de las tendencias de los índices extremos de precipitación R10, R20, CDD, CWD, SDII y RX5day para la estación DEF en el período 1982-2015 en Colombia.

Los resultados indican que los índices R10, R20 y RX5day presentan un patrón espacial de comportamiento muy similar, con valores positivos en la región del Pacífico colombiano, especialmente en el departamento del Chocó para los índices R20 y RX5day, y negativo en R10. Las tendencias negativas más fuertes se encuentran en el centro del Chocó, con valores que oscilan entre 0,3 y 1. Se destacan también tendencias positivas significativas en el suroeste de Colombia. El número de días secos consecutivos (CDD) muestra una tendencia general a disminuir en Colombia, con una distribución negativo y moderada en la región del Pacífico, la zona central y el noreste del país. En particular, se observan tendencias negativas significativas en la región del Chocó, con valores que oscilan entre -0,5 y -1,5. Por otro lado, los días húmedos consecutivos (CWD) presentan tendencias positivas en la región del Pacífico colombiano, especialmente en el departamento del Chocó y en la región suroeste del país. Las tendencias negativas se encuentran en la costa pacífica del sur de Colombia.



15.5 Referencias

- [57] Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J.-L., Fichet, T., ... & Wehner, M. (2013). Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. In Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P. M. (eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter12_FINAL.pdf
- [58] Córdoba-Machado, S. (2015). Predicción del clima de Colombia en escalas estacional e interanual. Tesis de Doctorado, Universidad de Granada. Retrieved from <https://hera.ugr.es/tesisugr/25601106.pdf>
- [59] Palomino-Lemus, R., Córdoba-Machado, S., Gámiz-Fortis, S. R., Castro-Díez, Y., & Esteban-Parra, M. J. (2017). Climate change projections of boreal summer precipitation over tropical America by using statistical downscaling from CMIP5 models. *Environmental Research Letters*, 12(12), 124011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9bf7>.
- [60] Casanueva, A., Rodríguez-Puebla, C., Frías, M. D., & González-Reviriego, N. (2014). Variability of extreme precipitation over Europe and its relationships with teleconnection patterns. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 709–725. <https://doi.org/10.5194/hess-18-709-2014>
- [61] Garreaud, R. D., & Aceituno, P. (2007). Atmospheric circulation and climatic variability. In: Veblen, T. T., Young, K. R., & Orme, A. R. (Eds.). *The physical geography of South America*: 45–59 pp. Oxford University Press.
- [62] Córdoba-Machado, S., Palomino-Lemus, R., Gámiz-Fortis, S. R., Castro-Díez, Y., & Esteban-Parra, M. J. (2016). Seasonal streamflow prediction in Colombia using atmospheric and oceanic patterns. *Journal of Hydrology*, 538, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.003>.



16. Análisis de consumo de energía eléctrica del alumbrado público en las calles del municipio de Quibdó

York Michael Palacios Córdoba

Estudiante de octavo semestre de ingeniería en telecomunicaciones e informática, Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba". Cra 22 No 18b - 10, Quibdó, Colombia. york.palaciosc064@utch.edu.co

16.1 Resumen

El municipio de Quibdó enfrenta una problemática de infraestructura y bienestar comunitario, destacándose de esta el deficiente sistema de alumbrado público, que se ha convertido en una preocupación central, con efectos directos e indirectos que impactan la vida cotidiana de sus ciudadanos. El análisis del consumo de energía eléctrica del alumbrado público en las calles del municipio de Quibdó aborda una evaluación detallada sobre la cantidad de electricidad utilizada en la iluminación de las vías públicas. Este estudio considera varios factores clave como el tipo de iluminación empleada (por ejemplo, LED, halógena, etc.), la distribución de las luminarias, su eficiencia energética y las horas de operación diarias. Se recopilan y analizan datos de consumo para identificar patrones de uso y áreas de mayor gasto energético. Se exploran también las posibles mejoras para optimizar el uso de energía, tales como la actualización de tecnologías obsoletas a sistemas basados en energías renovables y la implementación de sensores de movimiento. Se aplicaron algunas metodologías tales como el análisis de datos estadísticos. Finalmente, como trabajo futuro se plantea la necesidad de realizar un análisis el cual podría incluir recomendaciones específicas para reducir el consumo de energía y los costos operativos, aumentar la sostenibilidad y contribuir a las metas ambientales del municipio. Además, la realización de auditorías energéticas periódicas que permitan monitorear y mejorar la eficiencia del sistema de alumbrado público en Quibdó.

Palabras clave: Energía eléctrica; Alumbrado público; Energías renovables; Quibdó.



16.2 Introducción

En el municipio de Quibdó, la infraestructura de alumbrado público se enfrenta a desafíos significativos que afectan tanto la calidad de vida de sus habitantes como la seguridad en sus calles. A cargo de la empresa encargada del servicio eléctrico, el sistema de alumbrado ha mostrado deficiencias crónicas que generan preocupación entre los ciudadanos y las autoridades locales. Estas fallas se manifiestan en luminarias ineficientes y a menudo inoperantes, una cobertura insuficiente que deja zonas enteras en penumbras, y una respuesta lenta a las necesidades de mantenimiento y reparación, lo que exacerba el problema.

Esta situación no solo incrementa la vulnerabilidad a incidentes de seguridad pública, sino que también afecta la percepción del entorno urbano, desalentando actividades comerciales y sociales durante las horas nocturnas. Además, el uso de tecnologías de iluminación obsoletas contribuye a un consumo energético elevado y a una mayor emisión de carbono, contradiciendo los esfuerzos municipales por promover la sostenibilidad ambiental.

El descontento con el servicio provoca reclamos constantes hacia la empresa responsable, cuya capacidad para atender estas demandas es percibida como inadecuada. Este análisis pretende no solo identificar y documentar las deficiencias y sus impactos directos sobre la población, sino también proponer soluciones viables y sostenibles que mejoren tanto la eficiencia del sistema de alumbrado público como la calidad de vida en Quibdó.

Los antecedentes teóricos y prácticos se fundamentan en análisis de datos del sistema único de información de servicios públicos domiciliarios (SUI) y observaciones locales, resaltando la correlación entre la deficiencia lumínica y los problemas de seguridad en la comunidad.

Este trabajo se enmarca en una de las problemáticas de Quibdó, resaltando la importancia del alumbrado público en el contexto de seguridad y vitalidad comunitaria. Además, busca aportar al mejoramiento de los espacios mediante propuestas de innovación que a largo plazo logra un 100% de luminarias alimentadas por energía limpia a través de la implementación de paneles solares.

Finalmente, se empleará un enfoque analítico, basado en datos del SUI, y un análisis cualitativo de la relación entre la iluminación y la seguridad. Adicionalmente, se proponen soluciones sostenibles y eficientes.



16.3 Metodología

Se utilizaron la siguiente metodología:

I. Estudio de datos investigativos:

Se efectuó un análisis muestral de los datos obtenidos del SUI.

II. Observación directa:

Se realizó una observación directa en algunas áreas del municipio con la finalidad de levantar un diagnóstico de las luminarias instaladas en la ciudad de Quibdó

III. Consulta en entidades públicas:

Se llevó a cabo una investigación en las entidades públicas Aguas del Atrato, Dispac y el SUI, con el fin que se compartan informes o investigaciones acerca del mismo para nutrir la investigación.

16.4 Resultados

Según los datos obtenidos del SUI (Figura 37), del año 2023, se deduce que:

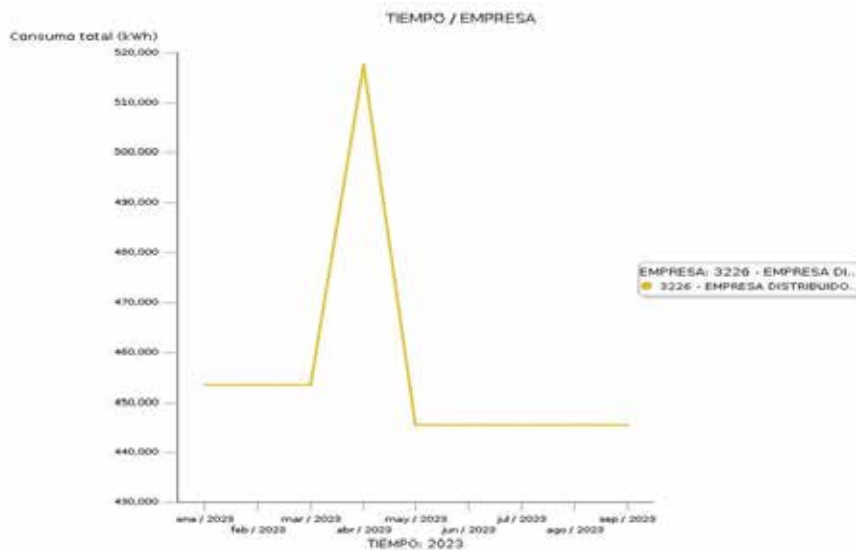


Figura 37. Consumo total anual



La figura 37, presenta una media aproximada de 458.910 kWh de consumo para el servicio de alumbrado público de Quibdó, siendo abril el mes que más se consumió con aproximadamente 520.000 kWh y un consumo total de aproximadamente 3.660.000 kWh [63].

Después de analizar los datos de consumo se obtuvo un valor total por consumo de 2.617.000.000 millones de pesos.

La figura 38, muestra un promedio de consumo mensual de 28,711 kWh, siendo abril el mes que registró mayor promedio (32,550 kWh aproximadamente), para un total de 258,4 kWh [63].

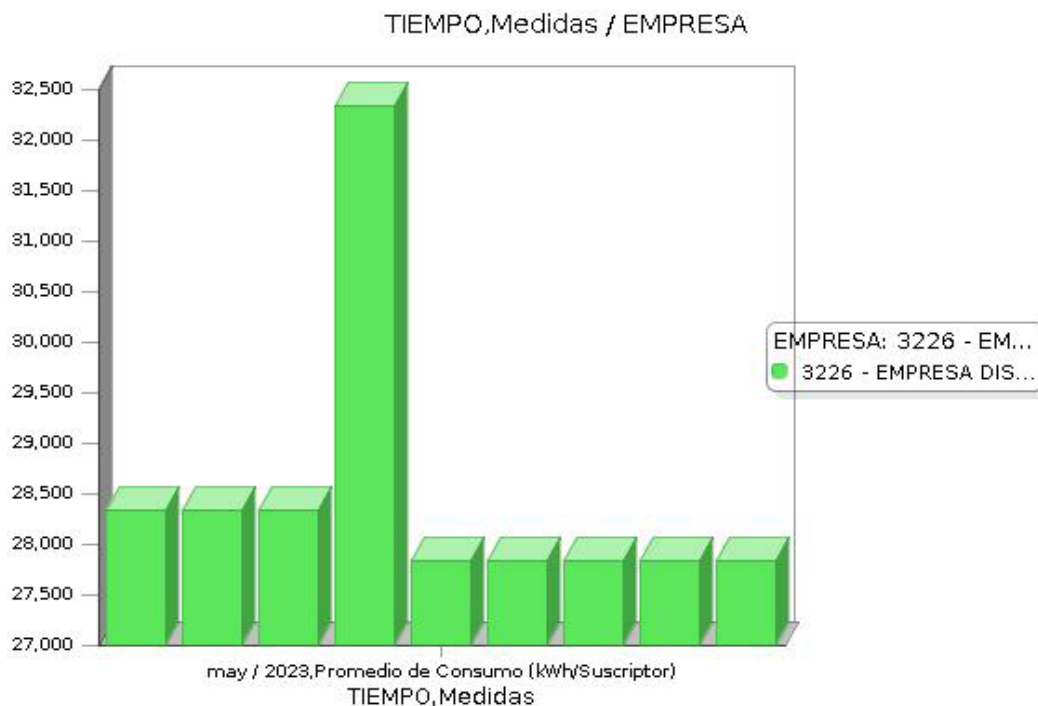
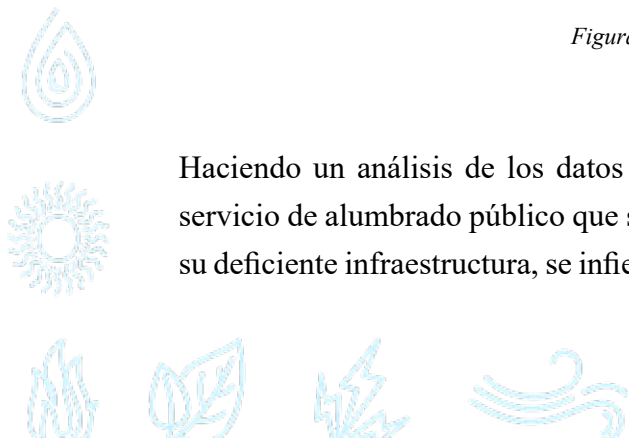


Figura 38. Promedio por consumo anual

Haciendo un análisis de los datos recopilados y observaciones directas, se deduce que el servicio de alumbrado público que se está prestando en el municipio no es el mejor; debido a su deficiente infraestructura, se infiere que de cada 10 luminarias cuatro presentan problemas,



ya sean estructurales o técnicos [64].

16.5 Referencias

[63] Superintendencia de servicios públicos domiciliarios - Actualizado de 2023. Consultado: el 23 de octubre de 2023. Disponible en: http://bi.superservicios.gov.co/o3web/viewdesktop.jsp?cmd=open&source=SUI_COMERCIAL_ENERGIA.

[64] Unidad de Planeacion Mirenoenergetica. (2023). *Sistema Unico de Informacion*, Quibdó.



17. Análisis de sistemas de e-commerce para Incrementar la visibilidad y promoción de restaurantes en Quibdó

Juan Carlos Arriaga García

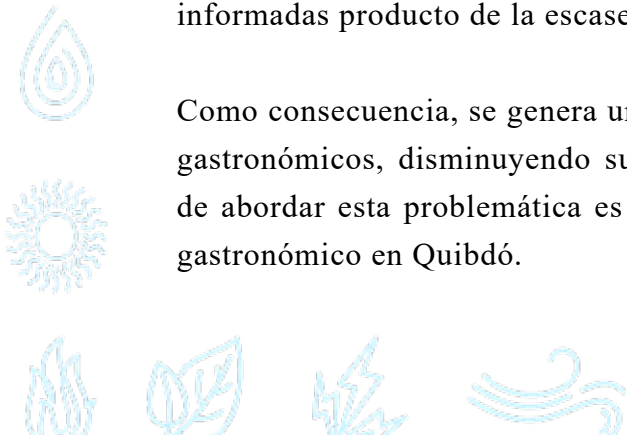
*Estudiante de octavo semestre de ingeniería de telecomunicaciones e informática.
Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba", Cra 22 No 18b-10, Quibdó-
Colombia. juan.arriagag511@utch.edu.co*

17.1 Resumen

El sector gastronómico en Quibdó está enfrentando un problema significativo debido a la escasa presencia en línea de sus restaurantes en los últimos años. La falta de promoción y visibilidad en internet dificulta que los consumidores sepan de la existencia de estos locales. Asimismo, la ausencia de información precisa sobre ubicación, productos y precios restringe la capacidad de los clientes para tomar decisiones bien fundamentadas al seleccionar dónde comer. Además, la falta de plataformas de comercio electrónico dedicadas a los restaurantes impide la expansión de sus operaciones y la captación de nuevos clientes. Un estudio revela que, de los 56 restaurantes formales en Quibdó, solo el 65% tiene presencia en línea. Se proporciona una lista de restaurantes relevantes junto con sus enlaces a sus plataformas en línea. A pesar de esta presencia, la falta de un sistema centralizado de gestión de información y comercio electrónico adecuado para los restaurantes en Quibdó persiste como un problema no resuelto.

En resumen, este problema tiene un impacto directo en la limitación de las capacidades de los restaurantes para atraer a los clientes debido a la falta de promoción y visibilidad. También afecta directamente a los consumidores, quienes no pueden tomar decisiones informadas producto de la escasez de información disponible.

Como consecuencia, se genera una restricción en los ingresos de los establecimientos gastronómicos, disminuyendo su competitividad en el mercado local. La necesidad de abordar esta problemática es esencial para el crecimiento y desarrollo del sector gastronómico en Quibdó.



Palabras clave: Sector gastronómico; Presencia en línea; Promoción; Información detallada; Plataformas de comercio electrónico.

17.2 Introducción

Este trabajo aborda la problemática de la escasa presencia en línea del sector gastronómico en Quibdó, Colombia. La falta de promoción y visibilidad limita la competitividad de los restaurantes y dificulta a los consumidores tomar decisiones informadas.

La importancia de este estudio radica en la necesidad de mejorar la competitividad de los restaurantes locales y facilitar a los consumidores el acceso a información detallada sobre las opciones gastronómicas. El propósito es desarrollar un sistema de comercio electrónico que permita a los restaurantes promocionar sus servicios en línea y ofrecer información detallada, al mismo tiempo que proporciona a los consumidores una plataforma para tomar decisiones informadas.

Este trabajo se basa en la observación de la situación actual respaldada por una investigación en línea, así como en antecedentes teóricos y prácticos en áreas relacionadas con programación web, el comercio electrónico y promoción en línea.

Esta problemática se enmarca en la temática del evento, que abarca tecnología, promoción y comercio electrónico. La falta de visibilidad y promoción en línea de los restaurantes en Quibdó es una cuestión relevante en el contexto de la transformación digital y la creciente demanda de servicios gastronómicos en línea.

El objetivo es mostrar la necesidad del desarrollo de un sistema de E-Commerce que mejore la visibilidad y promoción de los restaurantes en Quibdó. El alcance incluye el diseño, desarrollo e implementación de la plataforma, así como la evaluación de su impacto en el sector gastronómico local.

La metodología se basa en la recopilación de información de restaurantes, utilizando herramientas y tecnologías adecuadas para garantizar la funcionalidad y usabilidad del sistema.



Finalmente, este trabajo busca brindar información que corrobora la necesidad de una solución tecnológica para mejorar la presencia en línea de los restaurantes en Quibdó, con el propósito de impulsar el crecimiento del sector gastronómico y mejorar la satisfacción de los consumidores.

17.3 Metodología

La metodología empleada en este estudio, se diseñó para abordar la problemática específica del sector gastronómico en el municipio de Quibdó en relación con su presencia en línea y promoción. La propuesta de la metodología surge de la necesidad de comprender en profundidad los desafíos que enfrentan los restaurantes locales y encontrar soluciones efectivas. Para ello, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

I. Revisión de fuentes en línea

Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre la importancia de la presencia en línea y la promoción en la era digital, así como las mejores prácticas para el sector gastronómico.

II. Estudio en línea

Se diseñó y ejecutó un estudio en línea para evaluar la presencia en línea de los restaurantes en Quibdó. Se recopiló información sobre la existencia de sitios web, perfiles en redes sociales y otros medios de promoción en línea.

III. Encuestas

Se realizaron encuestas con consumidores y propietarios de restaurantes en Quibdó para recopilar datos cualitativos y cuantitativos sobre las limitaciones percibidas y necesidades específicas.



17.4 Resultados

La metodología empleada permitió obtener una comprensión integral de la problemática y orientó la propuesta de soluciones (Tabla 7).

Tabla 7. Presencia en línea de restaurantes formales en Quibdó

Variable	Valor
Total de restaurantes formales	56
Porcentaje de restaurantes con presencia en línea	65%
Número de restaurantes con presencia en línea	36
Lista de restaurantes con presencia en línea	Donky Burger, Doña Ana, Andrés Parrilla, Leños Y Lagos, Mirador Shaira Quibdó, Zimarrones Burger, Al Carbón, Doble Queso, Crokan pollo, Brisas del Atrato Restaurante Bar, Mastropiero Pizza Bar, El Buen Sabor, Pizza Kids, Freskura, Food Grill, Chocquiburger Quibdó, Comidas Rápidas Donde El Chory [65], [66]
Principales plataformas en línea utilizadas por los restaurantes con presencia en línea	Facebook, Instagram

Fuente: Elaboración propia.



17.5 Referencias

[65] “Los 10 mejores restaurantes en Quibdó - Actualizado de 2023”. Consultado: el 8 de noviembre de 2023. Disponible en: https://www.tripadvisor.co/Restaurants-g681278-Quibdo_Choco_Department.html.

[66] “Top 10 restaurantes en Quibdó”. Consultado: el 8 de noviembre de 2023. Disponible en: <https://carta.menu/list/88955651/restaurantes-quibdo>.



18. Análisis de optimización de un sistema de gestión de inventario mediante la metodología lean six sigma para pymes farmacéuticas en Quibdó

Yeisson Andrés Lagarejo Marmolejo

Estudiante de octavo semestre de ingeniería de telecomunicaciones e informática.
Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba", Cra 22 No 18b-10, Quibdó-
Colombia. yeisson.lagarejom659@utch.edu.co

18.1 Resumen

La investigación se centra minuciosamente en la gestión de inventario de pequeñas y medianas empresas (pymes) farmacéuticas de Quibdó, donde se destaca la ineficiente administración de existencias (también conocida como gestión de inventarios), atribuida a la carencia de conocimiento en el control de inventario y las limitaciones financieras que enfrentan estas empresas. Este problema se ve agravado por la falta de supervisión en tiempo real, generando interrupciones en el suministro y una disponibilidad irregular de productos farmacéuticos, lo cual impacta directamente en la calidad del servicio al cliente.

La propuesta implica la implementación de un sistema de gestión de inventario basado en tecnologías web. Para respaldar este enfoque, se propone la aplicación de la metodología Lean Six Sigma (LSS), reconocida por sus mejoras significativas en la gestión de inventario en entornos similares. La investigación busca, en última instancia, resolver de manera integral este desafío crítico de la gestión de inventario en las farmacias pymes de Quibdó. El objetivo final es mejorar no solo la eficiencia operativa, sino también la calidad del servicio, asegurando así la disponibilidad constante de productos esenciales y elevando la satisfacción del cliente en este contexto farmacéutico local.

Palabras clave: Sistema de gestión; Inventario; Pymes; Farmacia; Lean Six Sigma.



18.2 Introducción

La gestión eficiente de inventario es un desafío crítico para las pequeñas y medianas empresas (pymes) farmacias en Quibdó; por lo tanto, la investigación busca proponer un sistema basado en tecnologías web, utilizando la metodología Lean Six Sigma para mejorar la eficiencia operativa y satisfacción del cliente en las pymes farmacias.

La gestión de inventario es fundamental en el sector farmacéutico, pues cualquier interrupción en el suministro de productos esenciales puede tener un impacto negativo en la atención al paciente y la satisfacción del cliente [67]. Además, la ineficiente administración de existencias puede resultar en pérdidas financieras significativas para las farmacias pymes.

El origen de este trabajo se basa en la observación de antecedentes teóricos y prácticos, que revelan inexperiencia en técnicas de control de inventario y la limitación de recursos financieros como causas fundamentales de este problema en Quibdó. La insuficiente supervisión en tiempo real agrava la situación, lo que resulta en una disponibilidad irregular de productos farmacéuticos esenciales.

El objetivo de esta investigación es proponer la implementación de un sistema de gestión de inventario, basado en tecnologías de programación web para mejorar la eficiencia operativa, toma de decisiones y satisfacción del cliente en las farmacias pymes de Quibdó.

Se aplicó una metodología que incluyó la revisión de la literatura existente, el análisis de datos de inventario y la evaluación de casos de estudio relevantes. A través de este enfoque, este trabajo busca ofrecer una solución práctica a un desafío crítico que no solo afecta la competitividad de las farmacias, sino también la calidad de la atención y la disponibilidad de productos esenciales para los residentes de Quibdó.



18.3 Metodología



La metodología empleada en este trabajo se basa en un enfoque general que incluye una revisión exhaustiva de la literatura y el análisis de datos. Se ha prestado una atención



particular a la filosofía Lean Six Sigma (LSS) para mejorar la eficiencia operativa (Js et al., n.d.). Esta metodología surge como respuesta a la observación de la ineficiente administración de existencias en farmacias de la región. Se busca abordar de manera integral el desafío de la gestión de inventario en las farmacias pymes de Quibdó, identificando las causas del problema, proponiendo soluciones basadas en tecnologías de programación web y evaluando la viabilidad de la implementación de un sistema de gestión de inventario.

18.4 Resultados

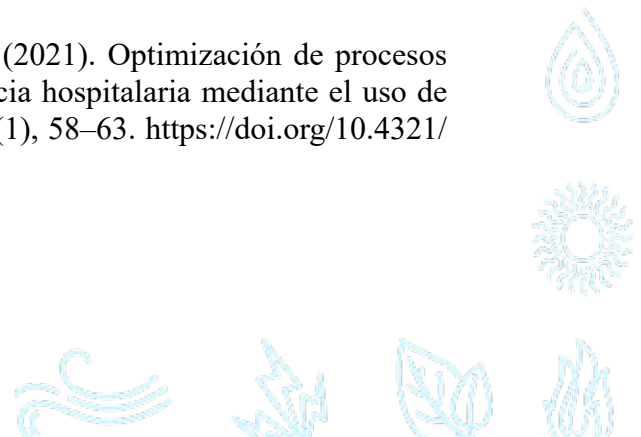
Tabla 8. Resultados obtenidos desde la etapa inicial hasta la etapa final de la investigación

Métrica	Período Inicial	Período de Consolidación
Errores por Recepción (PR)	0.135	0.033
Errores por Paciente (PDDU)	0.064	0.008
Errores por Pedido (PDS)	1.294	0.044
Porcentaje de Stocks Correctos	63.42%	95.95%

Se observó una mejora sustancial en la eficiencia operativa (Tabla 8). La gestión de inventario se volvió más ágil y precisa, lo que resultó en una reducción de las interrupciones en el suministro de productos farmacéuticos esenciales. La disponibilidad oportuna de estos productos aumentó, siendo este esencial para garantizar la calidad de la atención al paciente y la satisfacción del cliente. Estos hallazgos son significativos porque muestran que la adopción de tecnologías de programación tiene un impacto directo en la optimización de los procesos operativos dentro del sector farmacéutico, lo cual resulta muy interesante.

18.5 Referencias

[67] Teiler, J. S., Traverso, M. L., & Bustos Fierro, C. (2021). Optimización de procesos relacionados con la gestión del inventario de una farmacia hospitalaria mediante el uso de la metodología Lean Six Sigma. *Revista de la OFIL*, 31(1), 58–63. <https://doi.org/10.4321/S1699-714X20210001000013>



19. Estimación de la precipitación en alta resolución en Colombia a partir de un modelo de Downscaling estadístico

Samir Córdoba Machado; Reiner Palomino Lemus; Edison Banguero Palacios

*Centro de Investigación en Energías Renovables y Climatología (CIERCLIMA)
Universidad Tecnológica del Chocó, Quibdó, Colombia.*

19.1 Resumen

El presente estudio aplica un modelo estadístico de downscaling (SD) para estimar la precipitación en alta resolución en Colombia durante las estaciones de marzo-abril-mayo (MAM) y septiembre-octubre-noviembre (SON). Utilizando datos de la presión superficial del nivel del mar (SLP) de los modelos de circulación general (GCM) y la precipitación observada. El modelo muestra su capacidad para reproducir fielmente el campo de lluvia en zonas con mayor número de estaciones, aunque presenta mayores errores en áreas de baja cobertura de datos. El objetivo principal es evaluar la capacidad del modelo SD en el clima presente, para aplicarlo posteriormente a los modelos del proyecto de intercomparación de modelos acoplados (CMIP5) y reproducir la precipitación en el período histórico.

Palabras clave: Precipitación; Modelo de Downscaling; Colombia

19.2 Introducción

La región del Pacífico colombiano presenta condiciones climáticas únicas, que favorecen el desarrollo de una rica biodiversidad en flora y fauna, convirtiéndose en una de las zonas más biodiversas del planeta [68]. Además, la alta precipitación que caracteriza esta región, la convierten en una de las zonas más lluviosas del mundo con precipitaciones que superan los



10.000 mm anuales [69].

Por otro lado, el cambio climático y sus efectos incluyen el aumento del nivel del mar y el deterioro de los casquetes polares, así como el incremento de inundaciones y sequías, los cuales representan desafíos importantes [70]. Las actividades humanas han alterado la composición atmosférica, afectando la variabilidad natural del clima, como lo señala la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC). Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático de las Naciones Unidas [71], el aumento de más de 1°C en la temperatura del aire a nivel global está mostrando consecuencias significativas.

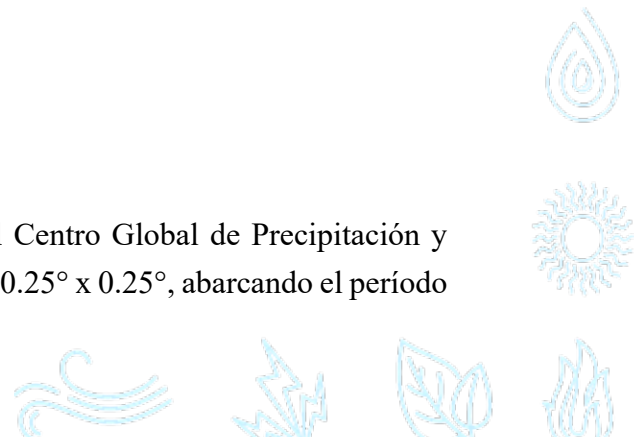
En Colombia, el gobierno ha establecido estrategias de adaptación y mitigación en respuesta a estos cambios climáticos, enfocándose en la vulnerabilidad y el riesgo de la población (IDEAM). Este estudio tiene como objetivo evaluar la capacidad de un modelo de "downscaling" estadístico en el clima presente, para aplicarlo posteriormente a los modelos del proyecto de intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5) y reproducir la precipitación en el período histórico.

El departamento del Chocó es particularmente vulnerable a los eventos hidrometeorológicos extremos debido a su ubicación geográfica, geomorfología e hidrología variada, influenciada por las interacciones entre el sistema océano-atmósfera del Pacífico y el Atlántico [72]. Las características de la Zona de Confluencia Intertropical (ITCZ) también juegan un papel crucial en el clima de Colombia y el Pacífico colombiano [69]. Los intensos eventos de precipitación en esta región afectan directamente la economía, los ecosistemas y la sociedad [73].

Muchos investigadores utilizan modelos de reducción de escala estadísticos (SD) para la pronóstico de precipitaciones a nivel local, generando estimaciones de variables regionales derivadas de variables predictoras a mayor escala, como la Regresión de Componentes Principales (PCR) y la Regresión de Mínimos Cuadrados Parciales (PLS).

19.3 Metodología

Se utilizó la base de datos mensual de precipitación del Centro Global de Precipitación y Climatología (GPCC, versión 8.0), con una resolución de 0.25° x 0.25°, abarcando el período



1950-2015 para los meses de marzo-abril-mayo (MAM) y septiembre-octubre-noviembre (SON). Como variable predictora, se empleó la presión media mensual sobre el nivel del mar (SLP) del Centro Nacional de Predicción Ambiental y el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (proyecto de reanálisis NCEP-NCAR), con una resolución horizontal de $2.5^\circ \times 2.5^\circ$.

El área de estudio abarca entre 4.25°S - 12.75°N y 80.25°W - 60.25°W para la precipitación, y 30°S - 30°N y 180°W - 30°W para la SLP. Se seleccionaron dos regiones para el estudio de precipitación en Colombia:

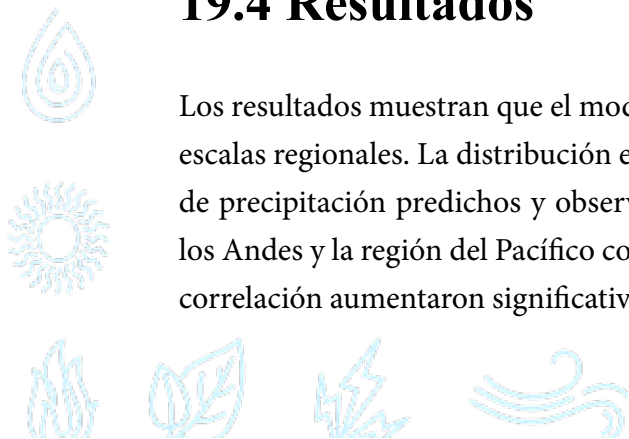
- Región Noroeste de Colombia (NWC) [8.25°N - 4.25°N y 78.25°W - 76.25°W].
- Región Suroccidental de Colombia (SWC) [4.25°N - 1.25°S y 78.25°W - 76.25°W].

Para identificar los principales patrones de variabilidad de la SLP, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) sobre la base de datos utilizando la matriz de covarianza. Las características geométricas obtenidas son útiles para la construcción de modelos de regresión, empleando las PCs como el método de Regresión por Componentes Principales (PCR).

El modelo de reducción de escala estadística (DS) se utilizó para establecer relaciones empíricas entre las variables predictoras (SLP) y los valores observacionales de precipitación [74, 75]. La multicolinealidad entre un subconjunto de datos se abordó mediante el uso de la PCR, que combina las mejores características de la regresión lineal múltiple y el análisis de componentes principales [76]. El primer paso en el análisis de PCR consiste en realizar un PCA sobre la matriz de covarianza de los datos de entrada predictivos, seguido de un análisis de regresión lineal sobre los componentes seleccionados.

19.4 Resultados

Los resultados muestran que el modelo de downscaling estadístico (SD) se desempeña bien a escalas regionales. La distribución espacial de los coeficientes de correlación entre los valores de precipitación predichos y observados, indican valores altos a lo largo de la cordillera de los Andes y la región del Pacífico colombiano. En el período de validación, los coeficientes de correlación aumentaron significativamente, especialmente en el departamento del Chocó y el



golfo de Maracaibo en Venezuela.

19.4.1 Modos de Variabilidad de la SLP

La Figura 39, muestra los modos de variabilidad de la SLP en Colombia para las estaciones de MAM y SON durante el período comprendido entre 1950-1993, explicando un porcentaje significativo de la varianza total. El primer modo (EOF1) destaca por su notable influencia del ENSO, explicando el 25.4% de la varianza en MAM y el 42% en SON, con centros de correlaciones positivas en el Pacífico tropical. El segundo modo (EOF2) explica el 16.1% en MAM y el 12.4% en SON, presentando una estructura de correlaciones positivas en el Atlántico norte y negativas en el Pacífico ecuatorial, sugiriendo patrones de teleconexión distintos al ENSO. Los modos subsiguientes (EOF3-EOF10) explican porcentajes menores de la varianza, entre el 10.4% y el 2.3% para MAM, y entre el 6.8% y el 1.9% para SON, mostrando patrones complejos de correlación entre los océanos Pacífico y Atlántico. La relación lineal entre las PCs de la SLP y los datos de precipitación del GPCC, evaluada a un nivel de confianza del 95%, revela vínculos significativos en diversas regiones de Colombia, especialmente en la región noroeste y suroccidental.



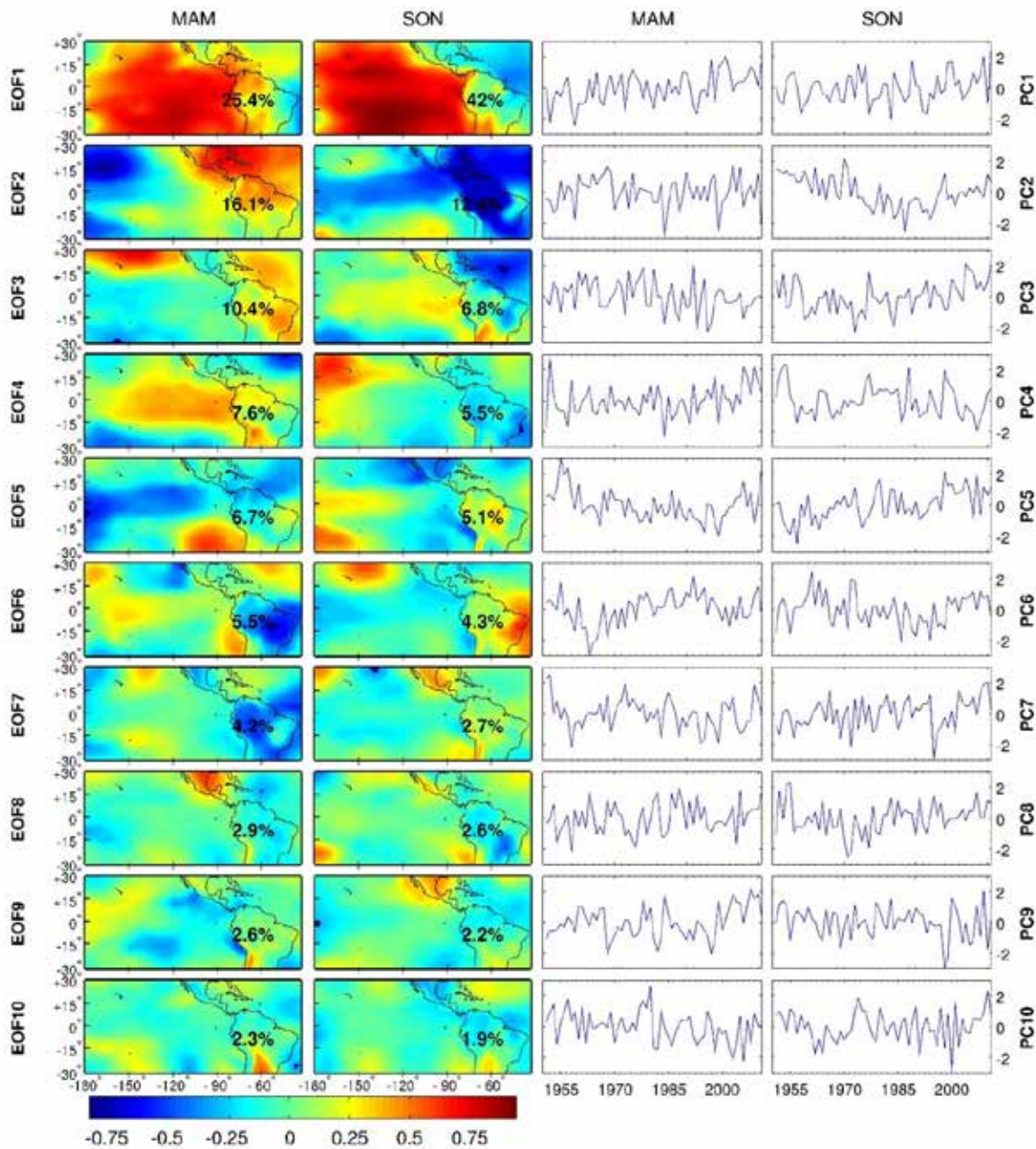
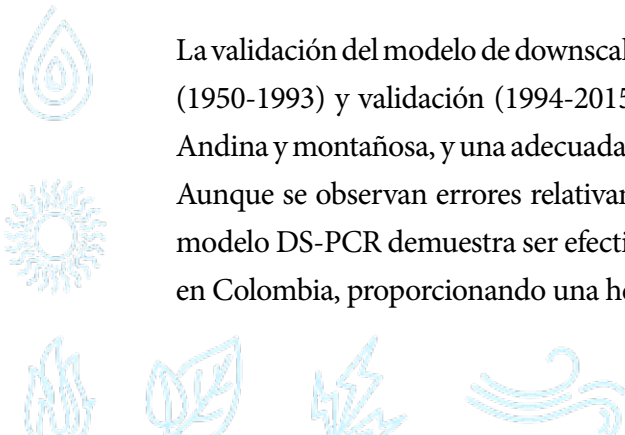


Figura 39. Patrones espaciales de los primeros 10 modos de variabilidad de la SLP en Colombia para las estaciones de MAM y SON durante el periodo comprendido entre 1950-1993.

La validación del modelo de downscaling estadístico (DS-PCR) durante los períodos de calibración (1950-1993) y validación (1994-2015), muestra altos coeficientes de correlación en las regiones Andina y montañosa, y una adecuada representación del campo medio de precipitación estacional. Aunque se observan errores relativamente grandes en áreas con baja cobertura de estaciones, el modelo DS-PCR demuestra ser efectivo para reproducir los patrones de precipitación observados en Colombia, proporcionando una herramienta valiosa para la predicción climática en el país.



19.4.2 Relación entre SLP y Precipitación

La relación lineal entre las PCs de la SLP del NCEP y los datos de precipitación del GPCC se evalúa a un nivel de confianza del 95%, mostrando vínculos significativos en diversas regiones de Colombia. La Figura 40 presenta los mapas de correlación entre las PCs y la precipitación observada, destacando que PC1 tiene una fuerte correlación positiva con la precipitación en la región noroeste de Colombia (valores entre 0.50 y 0.70), mientras que PC2 presenta valores negativos moderados (hasta -0.30) en la región suroccidental.

La validación del modelo de downscaling estadístico (DS-PCR) se llevó a cabo mediante la correlación entre las PCs de la SLP y los datos de precipitación observados del GPCC durante los períodos de calibración (1950-1993) y validación (1994-2015).



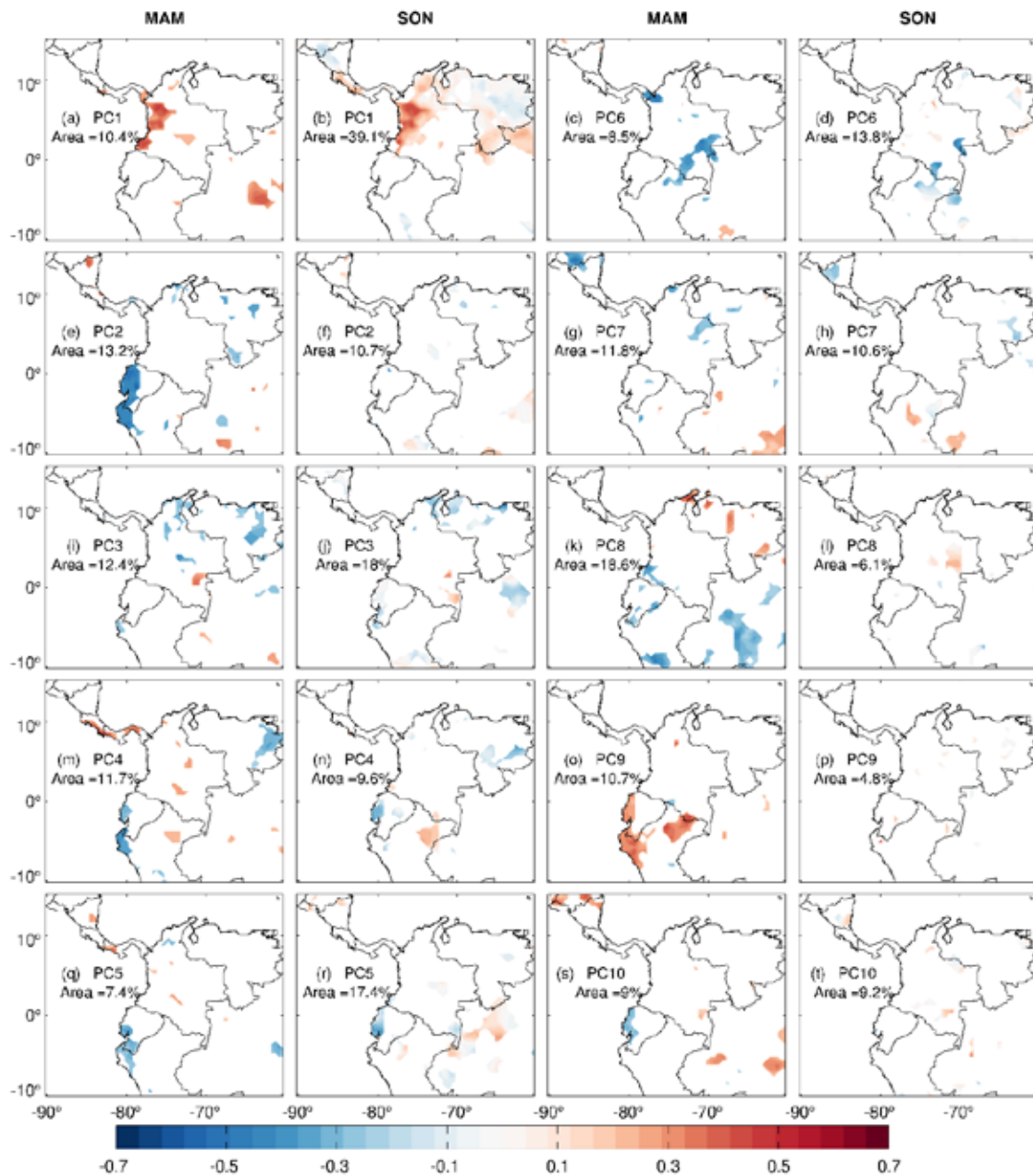


Figura 40. Patrones de correlación entre las precipitaciones de SON Y MAM en Colombia y los 10 PCs líderes de SLP. Regiones significativas con un nivel de confianza del 95%.



Los altos coeficientes de correlación observados en la región Andina y montañosa, así como en el extremo norte de Colombia y Venezuela, indican que el modelo DS-PCR es capaz de reproducir con precisión las características observadas de la precipitación. Sin embargo, se observan errores relativamente grandes en áreas con baja cobertura de estaciones, como la región de la Guajira y el piedemonte de la cordillera oriental, lo que sugiere la necesidad de mejorar la densidad de estaciones meteorológicas para reducir estos errores. En general,

el modelo DS-PCR demuestra ser una herramienta efectiva para la predicción climática en Colombia, proporcionando una representación adecuada del campo medio de precipitación estacional y contribuyendo a una mejor comprensión de los patrones de variabilidad climática en la región.

19.4.3 Validación del Modelo de Downscaling

La validación del modelo de downscaling estadístico para la precipitación se llevó a cabo utilizando los períodos de calibración (1950-1993) y validación (1994-2015). La Figura 41, muestra la distribución espacial de los coeficientes de correlación entre los datos de precipitación observados y los predichos por el modelo DS-PCR durante estos períodos. En el período de calibración, se observan altos coeficientes de correlación ($r = 0.70$ a 0.85) principalmente en la región Andina y montañosa, así como en el extremo norte de Colombia y Venezuela. Durante el período de validación, los coeficientes de correlación aumentan significativamente en la misma región, con valores que alcanzan hasta $r = 1.0$.



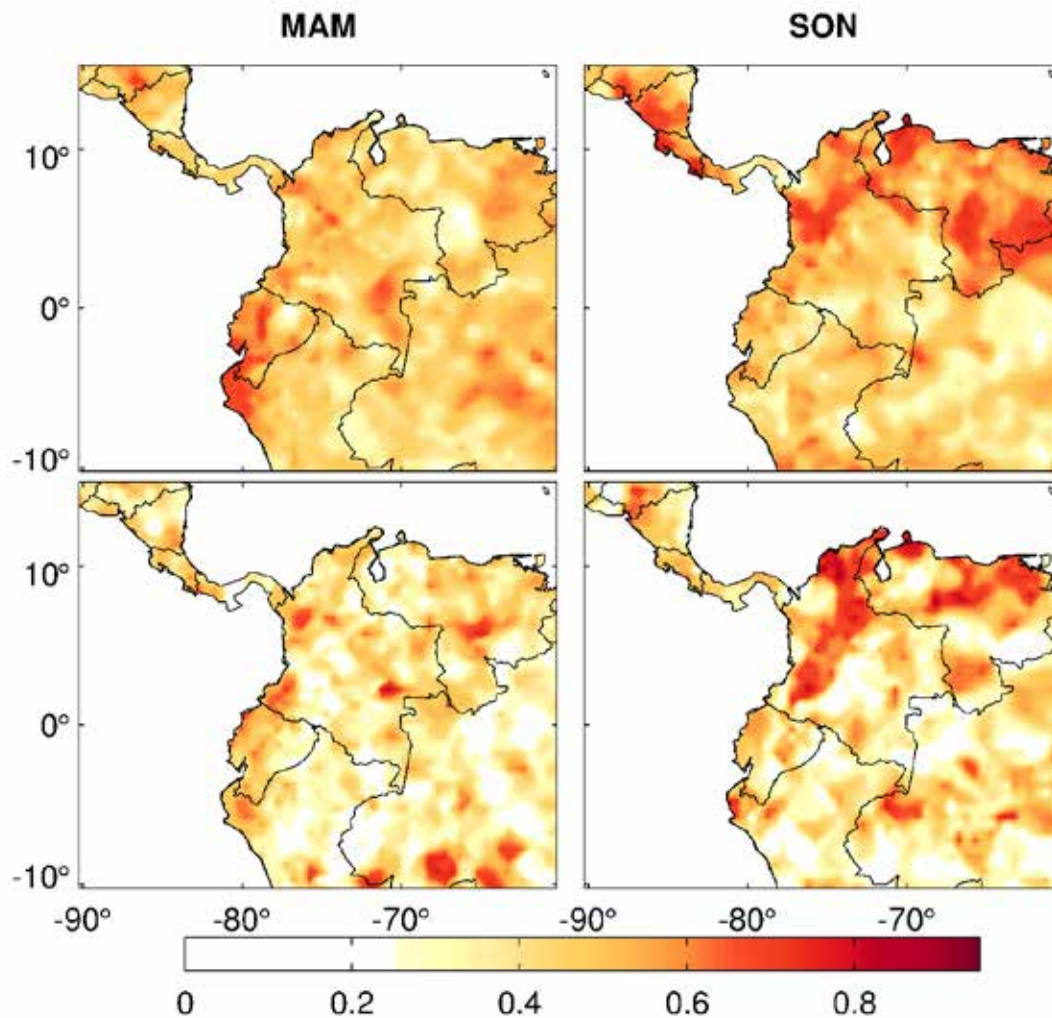


Figura 41. Distribución espacial de la precipitación estacional (mm) simulada y observada durante el periodo de calibración (1950-1993) y validación (1994-2015) en Colombia.

La Figura 42, presenta la distribución espacial del porcentaje de la raíz del error cuadrático medio (RMSE) entre los valores de precipitación observados y predichos durante los períodos de calibración y validación. Se observa un patrón de comportamiento similar entre ambos períodos, con errores relativamente grandes ($> 80\%$) en la Guajira y el piedemonte de la cordillera oriental, mientras que los errores más bajos ($< 30\%$) se encuentran en la costa pacífica y la Orinoquia.



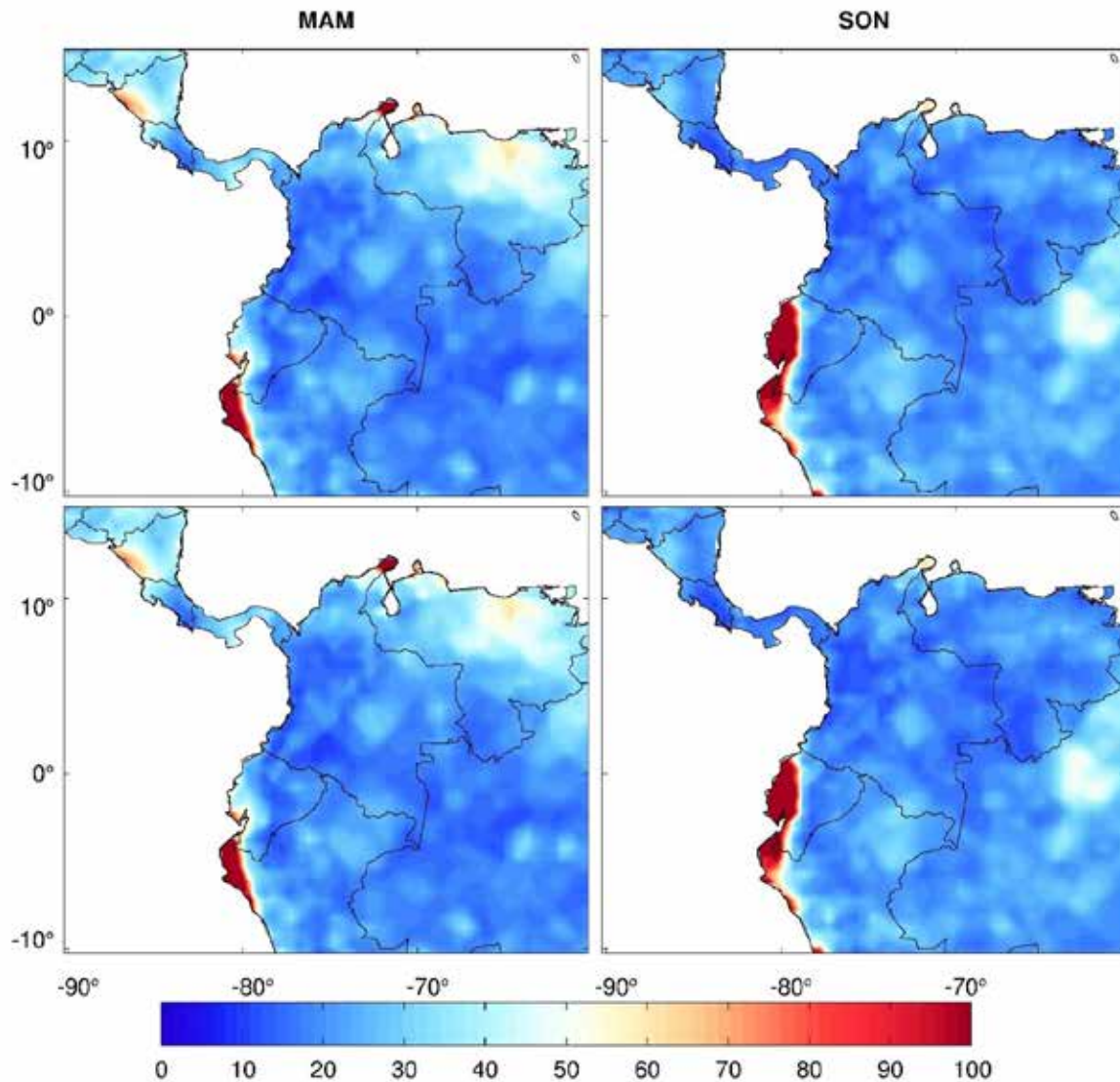
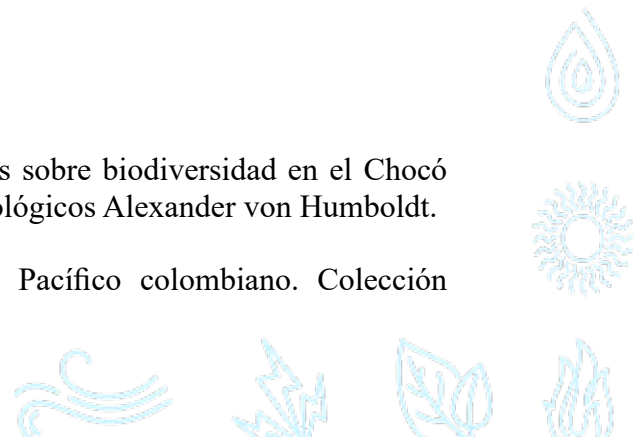


Figura 42. Distribución espacial del porcentaje de RMSE entre los valores estacionales de precipitación durante los periodos de calibración (1950-1993) y validación (1994-2010) en Colombia.

19.5 Referencias

[68] Herrera, L. P., & Walschburger, T. (1999). Estudios sobre biodiversidad en el Chocó biogeográfico. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

[69] Eslava Ramírez, J. E. (1994). Climatología del Pacífico colombiano. Colección



Eratóstenes (1). Academia Colombiana de Ciencias Geofísicas.

[70] UNFCCC, C. (2007). Unidos por el Clima. España: Ministerio de Medio Ambiente Español. Available at: https://unfccc.int/resource/docs/publications/unitingonclimate_spa.pdf.

[71] Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC). (2018). Informe del IPCC. Available at: https://www.ipcc.ch/pdf/session48/pr_181008_P48_spm_es.pdf.

[72] Lessman, H., & Eslava, J. (1985). Las precipitaciones anormales ocurridas en Colombia durante los años 1970 y 1971. *Atmósfera*, 3, 1–28.

[73] Alexander, M. A., Bladé, Ll., Newman, M., Lanzante, J. R., Lau, N-C., & Scott, J. D. (2002). The atmospheric bridge: The influence of ENSO teleconnections on air–sea interaction over the global oceans. *Journal of Climate*, 15(16), 2205–2231. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<2205:TABTIO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<2205:TABTIO>2.0.CO;2).

[74] Bronstert, A., Niehoff, D., & Bürger, G. (2002). Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modelling capabilities. *Hydrological processes*, 16(2), 509–529. <https://doi.org/10.1002/hyp.326>.

[75] Fowler, H. J., Kilsby, C. G., & Stunell, J. (2007). Modelling the impacts of projected future climate change on water resources in north-west England. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(3), 1115–1126. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1115-2007>.

[76] Wold, S., Esbensen, K., & Geladi, P. (1987). Principal component analysis. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 2(1–3), 37–52. [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(87\)80084-9](https://doi.org/10.1016/0169-7439(87)80084-9).



20. Conclusiones Generales del I Seminario Internacional Transformando la Ingeniería de Materiales “Avances y Aplicaciones”

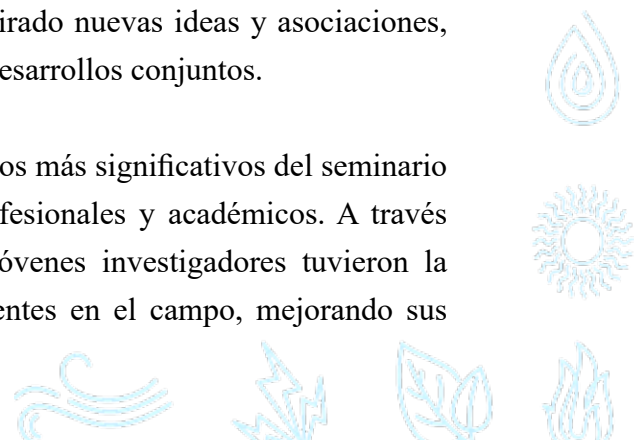
Avances Significativos en Ingeniería de Materiales: El I Seminario Internacional “Transformando la Ingeniería de Materiales: Avances y Aplicaciones” ha servido como un foro excepcional para la presentación de avances innovadores en la ingeniería de materiales. Durante el evento, expertos de diversos ámbitos discutieron sobre las últimas investigaciones y desarrollos tecnológicos, destacando especialmente los avances en materiales sostenibles y tecnologías de fabricación avanzadas que prometen revolucionar industrias como la construcción, la energía y la biomedicina.

Impacto en la Colaboración Académica e Industrial: El seminario ha fortalecido las colaboraciones entre instituciones académicas y la industria, lo que es crucial para la aplicación práctica de las investigaciones. La participación de empresas innovadoras, como Glasst Innovation Company, y su interacción con académicos e investigadores, ha demostrado la importancia de las alianzas estratégicas para el avance tecnológico y la comercialización de nuevas soluciones.

Impulso a la Innovación y Desarrollo Regional: Al ser sede de este prestigioso evento, la Universidad Tecnológica del Chocó ha reafirmado su compromiso con la investigación y la innovación, fortaleciendo su posición como un centro líder en el desarrollo de nuevas tecnologías en la región. Este enfoque no solo beneficia al ámbito académico, sino que también contribuye al crecimiento económico y tecnológico del Chocó y la ampliación de su infraestructura científica y tecnológica.

Fomento de Nuevos Proyectos y Colaboraciones: El seminario ha sido una plataforma para el lanzamiento de nuevos proyectos y la formación de redes de colaboración que continuarán más allá del evento. Las discusiones y talleres han inspirado nuevas ideas y asociaciones, estableciendo un camino para futuras investigaciones y desarrollos conjuntos.

Educación y Formación de Talentos: Uno de los impactos más significativos del seminario ha sido en la educación y la formación de futuros profesionales y académicos. A través de sesiones interactivas y talleres, los estudiantes y jóvenes investigadores tuvieron la oportunidad de aprender directamente de figuras eminentes en el campo, mejorando sus



habilidades y ampliando sus perspectivas académicas y profesionales.

Perspectivas Futuras: Se espera que las colaboraciones formadas durante el seminario evolucionen en proyectos concretos y que la Universidad Tecnológica del Chocó continúe desempeñando un papel activo en el avance de la ingeniería de materiales. Además, se planea seguir realizando este seminario de manera periódica para mantener el impulso generado y seguir contribuyendo a la ciencia y tecnología globales.





Universidad Tecnológica del Chocó
Diego Luis Córdoba

