



TEORÍA Y PRAXIS

Sustentabilidad, Turismo y Recursos Naturales



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE QUINTANA ROO



Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo
DESARROLLO SUSTENTABLE
DIVISIÓN ACADÉMICA

• Número 33 • Vol. 2024 •





· Revista científica, indizada y arbitrada ·

· Número 33 · 2024 ·

· ISSN 1870 1582 ·



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE QUINTANA ROO

COMITÉ EDITORIAL

Editor en Jefe:

Dr. Carlos Alberto Niño Torres
Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo

Editores asociados:

Dr. Oscar Frausto Martínez
Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo
Dr. Alfonso González Damián
Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo
Dr. Fredy Ismael González Fonseca
Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo

Editora invitada:

Dra. Ana Cecilia Travieso Bello

Analista administrativo:

Ing. Adeline del Carmen Puerto Ávila

Editora de maquetación y corrección de estilo:

Dra. Magda Luz Atrián Salazar

Diseño gráfico

M.A. Verónica E. Cuadra Hernández

Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo
Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort
Colonia del Bosque
Chetumal, Quintana Roo, México. C.P. 77019
www.uqroo.mx
Tel. (983) 835 0300

<http://www.teoriaypraxis.uqroo.mx>

EDITORIAL

El Comité Editorial de la revista Teoría y Praxis, y la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, se complacen en presentar el Número 33 de esta publicación periódica. Este número incluye 11 contribuciones innovadoras que destacan los desarrollos más recientes en los campos de la Sustentabilidad, el Turismo y los Recursos Naturales.

A lo largo de los años, desde su fundación en 2005, Teoría y Praxis se ha consolidado como un referente académico donde se entrelazan la teoría y la práctica. Esta revista proporciona a investigadores, académicos y profesionales un valioso espacio para compartir sus hallazgos y experiencias. Este número sigue esa tradición, presentando contribuciones que abordan temas fundamentales para el desarrollo sostenible y la gestión responsable de los recursos naturales.

En este ejemplar, los lectores encontrarán investigaciones que examinan la relación entre sustentabilidad y turismo, así como estudios de caso que analizan prácticas innovadoras en el uso de recursos naturales. También se incluyen reflexiones críticas sobre políticas públicas y su impacto en el medio ambiente, así como propuestas que buscan fomentar un diálogo constructivo entre la academia y la sociedad.

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todos los autores que han colaborado con sus trabajos, así como a los revisores que han invertido su tiempo y esfuerzo para garantizar la calidad de nuestras publicaciones. Su dedicación es esencial para el crecimiento y la reputación de nuestra revista.

Agradecemos especialmente la participación de la Da. Ana Cecilia Travieso Bello, profesora investigadora titular de la Universidad Veracruzana quien actuó, por segunda vez, como editora invitada. Además, a la Red de desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos del CONAHCyT (REDESClim) por su interés en fomentar la publicación en Teoría y Praxis entre sus miembros.

Esperamos que este número sirva de fuente de inspiración y conocimiento, animando a los lectores a continuar investigando y trabajando en favor de un mundo más sostenible. Agradecemos su constante apoyo y les invitamos a disfrutar de este nuevo ejemplar de Teoría y Praxis.

¡Gracias por su apoyo y disfruten de esta edición!

Carlos Alberto Niño Torres
Editor en Jefe

Índice

Autor	Título	Páginas
Isis Arlene Díaz Carrión Adriana G. Ríos Vázquez Ma. Cruz Lozano Ramirez	Emociones de las emprendedoras en el turismo en Tijuana	1 - 10
Ofelia Andrea Valdés Rodríguez Denise Soares Fernando Salas Martínez	Declaratorias de desastres y pérdidas de producción agrícola. Un acercamiento a la vulnerabilidad productiva de Veracruz	11 - 21
Adel Hafsi	Colaboración estratégica para la gestión de riesgos y resiliencia a escala local en México, en la voz de los expertos	22 - 31
Alejandra Sarhai Rivas Tapia Adel Hafsi Gladis Antonieta González Rodríguez Julio César Morales Hernández Bartolo Cruz Romero	Indicadores para la evaluación de infraestructura verde urbana con enfoque de gestión de riesgos hidrometeorológicos en Puerto Vallarta, Jalisco	32 - 40
Mercedes Andrade Velázquez Martín José Montero Martínez	Influencia de las oscilaciones climáticas AMO, PDO y ENSO en los patrones de precipitación en México: caso Sureste	41 - 49
Gerardo Daniel López Montejó María Luisa Hernández Aguilar Norma Angélica Oropeza García Bonnie Lucía Campos Cámara	Índice estandarizado de precipitación (SPI) para evaluar la sequía meteorológica en Tulum, Quintana Roo	50 - 56
Mariana Monserrat Núñez Padilla Noemí Itzel López Vargas Edgar Agustín Aguilar Peña Julio Cesar Morales Hernández Bartolo Cruz Romero Abril Guadalupe Quintero Guerrero	Eventos hidrometeorológicos extremos y su impacto en el sector agrícola en el municipio de Tomatlán, Jalisco: Caso de estudio huracán Lidia	57 - 64
Norma Angélica Oropeza García María Luisa Hernández Aguilar Gerardo Daniel López Montejó Bonnie Lucía Campos Cámara	Caracterización espacial de la contaminación atmosférica en Tulum, Quintana Roo	65 - 73
Anita Martínez Méndez Ricardo Enrique Vega Azamar Herlinda del Socorro Silva Poot	Percepción de la resiliencia de vialidades frente al cambio climático en una ciudad costera del Sureste de México	74 - 84
Ana Cecilia Travieso Bello Víctor Soto	Caracterización de incendios forestales en el estado de Veracruz, México (2022-2024)	85 - 96
Carolina Andrea Ochoa Martínez Ana Cecilia Travieso Bello	Percepción del cambio climático: el caso de los estudiantes de posgrado de la Universidad Veracruzana	97 - 104

Emociones de las emprendedoras en el turismo en Tijuana

Emotions of female entrepreneurs in tourism in Tijuana

Isis Arlene Díaz Carrión^{1*}
Adriana Guillermina Ríos Vázquez¹
Ma. Cruz Lozano Ramírez¹

¹Facultad de Turismo y Mercadotecnia, Universidad Autónoma de Baja California, México

*Autora de correspondencia: diaz.isis@uabc.edu.mx

Editor encargado: Dr. Oscar Frausto Martínez

Recibido: 27 de marzo de 2024 - Aceptado: 26 de mayo de 2024

Resumen

Cada vez se incrementa más el número de mujeres emprendedoras en el turismo; no obstante, continúan experimentando importantes brechas de género. Respecto al emprendimiento, confluyen construcciones sociales masculinizadas sobre los negocios y el riesgo. Las emociones y los afectos son un elemento central en la articulación de la vida social y a través de su análisis es posible identificar los procesos sobre los cuales las mujeres construyen su empoderamiento. Usando una metodología cualitativa, se analiza el rol de las emociones y flujos ambivalentes en la construcción de la identidad de emprendedoras turísticas de Tijuana (Baja California, México), enfatizando el riesgo. Como principales hallazgos se destaca la construcción de una identidad emprendedora basada en flujos ambivalentes que aportan nuevas lecturas al rol de la mujer en los negocios.

Palabras clave: Emociones, Emprendedoras, Turismo, Tijuana, Identidades

Abstract

The presence of women entrepreneurs has been increasing during the last decade, but they still experience important gender gaps. Entrepreneurship scholars have identified societal norms that sustain masculinized notions of business and risk. Emotions and affects have been fundamental elements to societal life, and by analyzing them we can shed light to women's empowerment processes. By using a qualitative methodology, we analyze the role of emotions and affective fluxes that sustain the identity of women's entrepreneurs in the tourism and travel sector in Tijuana (Baja California, Mexico), and their risk constructions. As main findings we emphasize the dynamics used by participants to generate an entrepreneurial identity based in affective fluxes that promote new interpretations of the presence of women in businesses.

Keywords: Emotions, Women entrepreneurs, Tourism, Tijuana, Identities

Introducción

En México, el emprendimiento ha sido promovido para atenuar la crisis de desempleo, generar innovación o también como estrategia de empoderamiento de las mujeres (Gutiérrez Cruz et al., 2020). El emprendimiento es generalmente caracterizado en la literatura como un riesgo (Zamora Torres et al., 2022); además, también se ha destacado su construcción masculinizada (Kogut y Mejri., 2022; Monteith y Camfield, 2019); por lo que no resulta extraño el enfrentar estereotipos de género, incluso en las actividades socialmente validadas para las mujeres, como el turismo.

A pesar de las diversas brechas de género en el sector, el emprendimiento de las mujeres suele ser percibido de manera positiva (Ojeda Gómez y Hernández Rodríguez, 2023; Tovilla Borraz et al., 2021; Sadrnabavi y Daneshvar, 2023). No obstante, también es necesario enfatizar los aspectos negativos generados (Suárez-Gtz. et al., 2023; Rodríguez Muñoz y Acevedo Duarte, 2015).

A partir de lo anterior, el objetivo de este artículo es analizar la construcción de la identidad de las emprendedoras y el riesgo, desde una perspectiva de las emociones y los afectos destacada por Ahmed (2003, 2004, 2009 y 2014) y su materialización a través de los flujos ambivalentes (Jiménez-Esquinas, 2017). El propósito es cerrar brechas del conocimiento sobre las limitaciones enfrentadas por las mujeres para incursionar y mantenerse en el mundo del emprendimiento turístico, enfatizando el impacto de las emociones y los afectos en los procesos identitarios de las emprendedoras y la construcción del concepto de emprendimiento desde una perspectiva de género.

Emprendimientos de las mujeres en el sector turístico

Diversas investigadoras han destacado el papel del emprendimiento de las mujeres en el turismo (Figueroa-Domecq et al., 2020; Gutiérrez Cruz et al., 2020; Monteith y Camfield, 2019), dando lugar a un dinámico campo de estudios en uno de los sectores con mayor presencia de mujeres (Ojeda Gómez y Hernández Rodríguez, 2023; UNWTO, 2019).

Particularmente en América Latina, las investigadoras han desarrollado una creciente línea en el tema de empoderamiento y emprendimiento en las últimas décadas (Ferguson, 2010; Vizcaino-Suárez, 2018), destacando las dinámicas de negociación o resistencia con las que las emprendedoras enfrentan las diversas expresiones de violencia de género en la región. La profundización del conocimiento de las razones que llevan a las mujeres a emprender, las barreras visibles e invisibles que enfrentan en las organizaciones turísticas o las dificultades para conciliar los roles de cuidadora y proveedora han sido clave para el entendimiento de las interacciones de la vida cotidiana y la necesidad de plantear estrategias conjuntas (Fernández-

Aldecua et al., 2022; Torres Limas et al., 2022; Pérez Romero et al., 2021).

Lo anterior es fundamental para promover el emprendimiento de estas en todas las actividades del sector, evitando la persistencia de ramas de actividad masculinizadas, como los servicios de transportación turística, de protección y vigilancia o como guías de turismo de aventura o en el agroturismo, por señalar algunas de las que cuentan con una mayor participación de los hombres (Figueroa-Domecq et al., 2020; Gómez Bañuelos et al., 2017). Esta situación ha sido particularmente señalada por las investigadoras como una de las paradojas que sostienen las brechas de género; toda vez que es este un sector económico con una presencia de mujeres por encima de la media registrada por los demás (Pérez Romero et al., 2021; WTTC, 2021; UNWTO, 2019).

Por ejemplo, de acuerdo con información de la Secretaría de Turismo (SECTUR, 2021), las clases de actividades económicas con mayor participación de las mujeres en México fueron “Restaurantes que preparan otro tipo de alimentos para llevar” (75.76 %), “Comercio al por menor de artículos de perfumería y cosméticos” (72.75 %), “Comercio al por menor de regalos” (72.34 %), “Comercio al por menor de bisutería y accesorios de vestir” (72.02 %), y “Restaurantes con servicio de preparación de antojitos” (70.6 %); actividades que se corresponden a las socialmente validadas para las mujeres en su rol de cuidadora.

Mientras que otras investigaciones han enfatizado más brechas de género; por ejemplo, el suelo de cristal y suelo pegajoso -que concentran la presencia de las mujeres en los puestos operativos de las empresas y organizaciones turísticas-, como la segregación ocupacional entre hombres y mujeres en los emprendimientos (Gómez Bañuelos et al., 2017; Suárez-Gtz. et al., 2023). Además de la concentración de mujeres en ciertas actividades, Pérez Romero et al. (2021) han destacado la brecha salarial existente entre mujeres y hombres que laboran en el sector.

A pesar de las diversas brechas de género experimentadas por las mujeres en el turismo, su emprendimiento en el sector es percibido generalmente como positivo; así, las investigaciones cualitativas han evidenciado las opiniones de unas emprendedoras que consideran que el turismo, si bien no ha resuelto la inequidad experimentada, sí ha podido contribuir al fortalecimiento de agencia para resistir la violencia de género (Ojeda Gómez y Hernández Rodríguez, 2023; Tovilla Borraz et al., 2021). No obstante, también es necesario enfatizar los aspectos negativos generados por el emprendimiento de las mujeres; al respecto, las investigaciones han dado cuenta del aumento de la carga de trabajo ante la falta de corresponsabilidad por parte de los esposos o parejas, además de la prevalencia del emprendimiento en actividades socialmente validadas para las mujeres, situaciones que condicionan sus procesos de

empoderamiento (Suárez-Gtz. et al., 2023; Rodríguez Muñoz y Acevedo Duarte, 2015).

Las emociones y los afectos de las emprendedoras en el turismo

Para esta investigación, se parte de las aportaciones de Sara Ahmed (2003, 2004, 2009 y 2014), quien enfatiza que emociones y afectos son un elemento articulador de la vida social; por ello, considera la indisociabilidad de ambos, el rol de las normas societales en su construcción, la consideración de las diversas imbricaciones (por ejemplo, género, orientación sexual, etnia, clase social, edad, por señalar algunas), así como la importancia del contexto.

Las emociones/afectos suponen una fértil línea para las investigaciones de turismo; no obstante, la academia lleva unos pocos años interesándose por su estudio (Hosany et al., 2021); desde los estudios de turismo y género son varias las investigaciones que han evidenciado su relevancia (Bakas, 2017; Tucker, 2007 y 2009). Introducir el “giro afectivo” propuesto por Ahmed en los estudios de emprendedoras permite la consideración de un proceso, a través del cual (re) construyen sus negociaciones emocionales/afectivas, que soportan su identidad en el mundo de los negocios y en el resto de su cotidianidad.

Las emociones y los afectos juegan un papel significativo al momento de enfrentar los estereotipos de género en el turismo; al respecto, Jiménez-Esquinas (2017) da cuenta de las emociones y afectos ambivalentes que llevan a las artesanas gallegas a superar los estereotipos de género usando actividades socialmente validadas para ellas. A través de esos procesos, las mujeres sostienen sus identidades y van fortaleciendo sus niveles de agencia no solo para emprender, sino también para reorganizar el trabajo de cuidados, implicando una mayor participación de los hombres en este (Díaz-Carrión y Vizcaino, 2021).

El emprendimiento es generalmente caracterizado en la literatura como un riesgo, lo cual se incrementó de manera sustancial durante la pandemia (Calderón Collazos, 2021; Paredes Hernández et al., 2019; Zamora Torres et al., 2022). Por otro lado, también se ha destacado su construcción como una actividad masculinizada, ello como consecuencia de los estereotipos de género aplicables al mundo de los negocios (Calderón Collazos, 2021; Kogut y Mejri, 2022; Monteith y Camfield, 2019). En la literatura, si bien el emprendimiento está estrechamente relacionado con el riesgo (Paredes Hernández et al., 2019; Shelton y Lugo, 2021) en el caso de los emprendimientos de las mujeres, el riesgo aparece como un factor también definido a partir del género; así los negocios de las mujeres suelen concentrarse en actividades que requieren una baja inversión inicial y con un margen de ganancias limitado, combinación que hace a sus emprendimientos sumamente vulnerables (Calderón Collazos, 2021). Al respecto cabe señalar los hallazgos de Pérez-Paredes et al.

(2021), quienes no encontraron una diferencia significativa entre emprendedores y emprendedoras encuestadas: hombres y mujeres emprenden más a partir de expectativas o creencias y sin tener necesariamente inicios planeados.

Sustentando lo anterior, Calderón Collazos (2021) comenta sobre la presencia de reinversiones por parte de las emprendedoras bolivianas, quienes van modificando los “mitos” del emprendimiento y la necesidad de cambio social sobre dicha construcción. Por ejemplo, la investigación de Sabater Fernández (2018) destaca el enfrentamiento de riesgos como una importante parte de la autoidentificación de emprendedora exitosa, así como la necesidad de tener un mejor desempeño al esperado por parte de los emprendedores (Kogut y Mejri, 2022).

La relevancia de analizar las emociones y afectos del emprendimiento de las mujeres en el turismo permite la identificación de las dinámicas socioculturales y económicas que promueven sus identidades y, en un alcance más amplio, puede también promover el diseño de estrategias dentro del propio ecosistema emprendedor para promover el emprendimiento y sostener la denominada economía de cuidados. Lo anterior es significativo porque la prevalencia del rol de cuidadora en manos de las mujeres continúa siendo considerada como una de las principales limitantes del emprendimiento (Paredes Hernández, 2019; Sabater Fernández, 2018).

Al respecto, las investigadoras han dado cuenta de la realización de dobles jornadas de trabajo y el condicionamiento por parte de los hombres para que las mujeres que cuidan puedan dedicar no solo tiempo, sino también otros recursos al emprendimiento. Sin embargo, también se ha destacado cómo a través del emprendimiento en el turismo, las mujeres experimentan no solo el desarrollo de agencia, a través de su identidad de emprendedora, sino también el fortalecimiento de sus negociaciones con el grupo doméstico y la comunidad en la búsqueda de relaciones más equitativas (Díaz-Carrión y Vizcaino, 2021; Jiménez-Esquinas, 2017; Rodríguez Muñoz y Acevedo Duarte, 2015).

Metodología

Para esta investigación se hace uso del método cualitativo, mismo que ha sido usado por varias investigadoras para el análisis de emociones y afectos; se le elige por su alta posibilidad para promover un enfoque más participativo y horizontal, congruente con los estudios de género y turismo (Bakas, 2017).

La entrevista en profundidad semiestructurada es la principal herramienta usada en la recolección de la información (Díaz-Carrión y Vizcaino, 2021; Suárez-Gtz et al., 2022). El guion de la entrevista se elabora a partir de la revisión teórica y se somete a validación por cuatro expertas,

académicas activas en universidades nacionales y extranjeras, con publicaciones destacadas en estudios de mujeres y turismo; sus recomendaciones se integran al guion y se realizan dos pruebas piloto, buscando robustecer la herramienta (Patton, 2015). El guion se estructura en cinco apartados:

1. Aspectos sociodemográficos de la emprendedora.
2. Aspectos económicos del emprendimiento.
3. Emociones.
4. Emprendimiento.
5. Negociaciones.

Estos temas agrupan las principales dinámicas señaladas por teóricas como Ahmed (2003, 2004, 2009 y 2014), Jiménez-Esquinas (2017), Calderón Collazos (2021), Kogut y Mejri (2022) o Sabater Fernández (2018), por señalar algunos de los trabajos que más influyeron en el diseño de este.

La población de estudio está compuesta por mujeres, cisgénero, con un emprendimiento turístico operando, de manera continua en Tijuana, durante un periodo mínimo de 4 años y medio. Esta antigüedad del emprendimiento se determina a partir del criterio de Peña-Ramírez et al. (2020), quienes establecen 3 años y medio como plazo correspondiente a la etapa inicial de un negocio; a dicho criterio se ha sumado 1 año más, por las afectaciones generadas en las empresas turísticas por la pandemia de COVID-19 (INEGI, 2021).

La selección de la muestra se realiza siguiendo los métodos de conveniencia y bola de nieve; las primeras emprendedoras contactadas han participado en proyectos previos y estas, a su vez, remiten a nuevas entrevistadas (Patton, 2015). La muestra de estudio, que permite alcanzar el punto de saturación, es de 26 entrevistadas; en el Anexo 1 se pueden consultar las características sociodemográficas básicas de las participantes, así como el tipo de emprendimiento turístico.

La etapa de campo se desarrolla durante los meses de enero a noviembre del 2022; posteriormente se lleva a cabo la transcripción, la codificación y el análisis de contenido (Graneheim et al., 2017; Evans y Anderson, 2018). Para la determinación de códigos se parte de la revisión teórica previamente realizada, la cual se valida con pares académicos y comprende los siguientes conceptos: emprendedora, riesgo, emociones/afectos y flujos ambivalentes.

Para minimizar sesgos, los hallazgos se discuten con pares académicos y se retroalimenta a las participantes, permitiendo también una interpretación horizontal y participativa de los hallazgos; mientras que para asegurar el anonimato de estas se modificaron nombres y características generales menores (Patton, 2015).

Resultados

A continuación, se exponen las principales dinámicas identificadas, la sección se divide en dos apartados donde se

destaca la identidad de la emprendedora y el riesgo derivado de emprender.

¿Qué se siente ser emprendedora?

Dentro de los afectos y emociones más identificados por las participantes están el orgullo y la satisfacción personal. El reconocimiento familiar se concentra principalmente en la descendencia: "...quiero que mi hija se sienta orgullosa de mí, de lo que hago" (Wendy), pero también en la ascendencia: "mi papá no quería que entrara en el negocio, pensaba que no era un ambiente para mujeres, sentía que no era adecuado para las mujeres, y entonces para mí fue también como... sí puedo ser mujer y emprender en esa actividad" (Marina).

En ocasiones, la continuidad generacional del negocio aparece también como un elemento de orgullo y satisfacción de las emprendedoras: "mi mamá y mi papá tienen sus negocios, igual, del tipo de este que tengo yo [...] entonces sí es bonito sentir que ya eres la segunda generación" (Amanda). Algo compartido por Susana, también la segunda generación de su familia en emprender: "te sientes bien, porque además a veces la gente duda de que vayas a ser tan buena como lo fue, en mi caso, mi papá, creen que no vas a poder mantenerte... o crecer". Igualmente, Gabriela encuentra el interés de su hijo por proseguir con el negocio, iniciado por ella, como un motivo de orgullo y reconocimiento a su rol de emprendedora.

Además del círculo familiar, el reconocimiento de las amistades aparece como una fuente de orgullo para las participantes: "mucho, mucho, mis amigas me presumen todo el tiempo" (Marina), una opinión registrada en los casos de otras participantes (Sagrario, Susana, Evelyn).

Asimismo, el reconocimiento en el resto del gremio también les produce satisfacción: "...te sientes bien porque por ejemplo cuando negocié el crédito con proveedores" (Paula); así como confianza, al respecto señala Amanda: "ser reconocida por otras personas, que confíen en ti para trabajar contigo, que te apoyen, sí yo tengo un empresario que ha sido de gran ayuda para crecer, te da confianza y te la empiezas a creer que sí, que puedes... es una responsabilidad, pero también un gusto".

Precisamente retomando lo relativo a la responsabilidad aparecen otras emociones y afectos; por ejemplo, el miedo, la aprensión o la tristeza, mismos que se experimentaron de manera sostenida durante la pandemia: "pensabas y ahora qué, cómo le voy a hacer, cuándo voy a poder abrir, sí había pasado por otras dificultades, pero como la pandemia ninguna" (Lizeth); no obstante, como comenta la entrevistada, aunque estas emociones aparecen en otras etapas del emprendimiento, la pandemia parece centralizarlas y es recordada como un hito, probablemente por la magnitud de esta:

"si te iba mal por algo y tenías la angustia pues buscabas por otro lado, tu familia te apoya, pero la pandemia fue como que todo mundo la está pasando mal, tengo que

hacerme fuerte... y ya no era tan fácil, era como que más difícil ser optimista” (Susana).

Pero es precisamente el haber “seguido a flote” lo que ahora aparece como un motivo de orgullo y optimismo: “desafortunadamente muchos negocios cerraron, y yo sigo aquí, entonces sí me siento más fuerte, más confiada” (Paula).

En general, la continuidad del emprendimiento a pesar de la pandemia, resulta fuertemente valorado por las entrevistadas y destacan el impacto que ha implicado en su identidad emprendedora: “creo que si después de eso, sigues aquí es porque realmente te gusta lo que haces” (Karina); opinión que es compartida por Janeth quien comenta que, si bien la pandemia detuvo ciertos proyectos que tenía en mente, el haber sobrevivido le ha permitido una mayor convicción sobre el futuro de su negocio: “ahora que nuevamente estoy tomando fuerza quiero aprovecharla y echar a andar unos proyectos que no me había animado”, evidenciando así su interés por mantenerse en la actividad: “ahora pienso que si le invierto, es con mayor seguridad, ya no es como ‘bueno pues a ver cómo me va’ ... es como más estratégicamente”.

¿Cómo vives las amenazas y los cambios?

Las participantes asumen las amenazas y el cambio como parte del proceso de emprender, pero también consideran que ciertas amenazas tienen relación con el hecho de ser mujer e incursionar en el mundo del emprendimiento (Lizeth, Paula, Evelyn). Como queda evidenciado en las palabras de Marina: “Por ser mujer, tengo que cuidarme más, sé que el ambiente en el que me muevo se presta a que tenga que ser muy cuidadosa”, Marina no se refiere solo a riesgos y amenazas del negocio, sino también se extiende a un comportamiento que abarca un rol de mujer vigilado por las normas societales, pues como señala Paula:

“...a veces es como que no te toman en serio... ‘¿y a qué hora podemos hablar con el jefe?’ o ‘¿ya lo habló con su esposo?’... hay veces es molesto, otras les explico que ‘el jefe es jefa’, otras lo ignoro de plano”.

La presencia de otras dinámicas experimentadas también da cuenta de situaciones que provocan irritación:

“Cuando inicié y buscaba apoyo jurídico, los licenciados, para el papeleo... siento que me tomaban por no sé... no sabía las tarifas, y me querían cobrar más caro, o sea sí es el querer tomar ventaja, pero también es como pensar que como eres mujer sabes menos todavía... comenté con una amiga y me dijo que sí, que era mucho lo que me querían cobrar” (Sagrario).

Ese proceso se vive con mayor incertidumbre en el caso de las emprendedoras migrantes: “...llegué y no conocía a nadie, siendo extranjera tampoco conoces cómo se hacen las cosas, tu situación migratoria también puede complicar los procesos... tienes que esperar tus papeles legales, te abrumas mucho, hay quien se quiere aprovechar.... entonces también es de ‘calma, respira profundo’ pero si... así es

conmigo, cuando no hablas español... debe de ser peor para esas migrantes” (Zulema).

De igual forma, la percepción de las entrevistadas permite avanzar en la definición del riesgo; por ejemplo, aquellas como Marina, quien ha emprendido en una actividad masculinizada, experimentan el riesgo de: “destacar en un mundo de hombres”; y lo viven como un reto que les genera orgullo, satisfacción personal y también aprensión: “como eres mujer, te miran distinto y tienes que ser mejor que un hombre, si un cervecero llega hasta aquí [pone un nivel con su mano derecha] yo tengo que llegar hasta acá [pone un nivel más alto con su mano izquierda]”. Esta necesidad de trabajar más para lograr el reconocimiento ha sido señalada por otras investigaciones, como la de Sabater Fernández (2018) o la de Kogut y Mejri (2022). La percepción de un mayor escrutinio para la emprendedora remite a emociones y afectos ambivalentes que las lleva a tener que destacar: “... no me gusta que a veces me ubiquen como mujer... porque siento que eso va a ser usado para demeritar mi producto, que van a decir ‘solo le dieron ese premio porque es mujer’ o ‘no es bueno su producto, pero como es mujer y está de moda’ y no es cierto” (Marina); pero, como añade Susana: “también es importante que se vea que tenemos varias mujeres y que nuestro trabajo es importante porque todavía se piensa que esto [emprender] es solo para los hombres”.

Pero como comenta Paula, al emprender ella también ha enfrentado además del riesgo de iniciar un negocio, el de hacerlo crecer a partir de apoyos externos -en su caso, el crédito-. Igualmente, Amanda comenta el riesgo enfrentado como consecuencia de una mala decisión y el orgullo de no solo superar la situación, superarla y aprender; mientras que Susana destaca, por su parte, el riesgo de enfrentar la idea del emprendimiento como algo solo para los hombres.

Las situaciones anteriores enfatizan la necesidad de promover constructos que consideren la perspectiva de género como parte del proceso de apoyo a la participación de las emprendedoras (Calderón Collazos, 2021). Como señalan en sus discursos Marina y Susana, la emprendedora experimenta flujos ambivalentes sobre los que va construyendo su identidad y su reputación; si bien los éxitos pueden ser devaluados por ser mujer (Marina, Susana y Amanda) valoran el orgullo y la responsabilidad de destacar y ser una emprendedora exitosa; esto en concordancia con los hallazgos de Kogut y Mejri (2022) y Sabater Fernández (2018).

La necesidad de una mayor presencia de emprendedoras, señalada por Susana, toma mayor relevancia en las ocasiones en que las participantes hacen uso de sus redes para enfrentar el cambio y las amenazas de su negocio; por ejemplo, como señaló Paula: “en un momento quise crecer el negocio, pero necesitaba mayor liquidez y me apoyé en los proveedores y en otras emprendedoras, me sentí más confiada porque no estaba sola”, el apoyo de las redes es también significativo para enfrentar dinámicas que las violentan:

“...hubo una situación de malos manejos en un negocio del sector y pues yo me vi afectada por eso y tuve que liquidar de inmediato esos créditos para no verme afectada...entonces otras personas también del sector me respaldaron, fue un momento de mucha angustia, pero también de satisfacción y de saber que si me respaldaron es porque he sabido hacer las cosas y también de ya no ser tan confiada en elegir con quién trabajar” (Amanda).

Discusión

En el caso de las participantes, las emociones y afectos son aprovechados como elementos que suman a sus estrategias para hacerse un lugar en el ecosistema emprendedor (Shelton y Lugo, 2021; Kelly y McAdam, 2022); es indudable que amenaza y riesgo son inherentes al emprendimiento, pero también es cierto que la categoría de género evidencia al emprendimiento como un constructo atravesado por las normas sociales, por lo que es necesario avanzar en cambios sociales que deconstruyan el mito del emprendimiento como una acción masculina (Sabater Fernández, 2018; Calderón Collazos, 2021).

Diversos sentires son los experimentados por las participantes: el orgullo, la confianza, el miedo, la irritación, la alegría, son algunos; se destaca también la ambivalencia como característica que puede sostener negociaciones y contribuir a la presencia de las mujeres en los negocios. Los procesos de orgullo de tener que demostrar más por ser mujer, así como otras dinámicas de mayor escrutinio han sido destacados por diversas investigaciones (Sabater Fernández, 2018; Kogut y Mejri, 2022), las negociaciones que las emprendedoras ponen en marcha para enfrentar las normas societales restrictivas impactan en la construcción de su identidad de emprendedora, además de sus otras identidades. Ello queda evidenciado en el caso de Wendy, cuando, por ejemplo, comenta su deseo de reconocimiento por parte de la hija como elemento importante de orgullo; también aparece en la experiencia de Marina, en ella el deseo de reconocimiento muestra además el orgullo de emprender en una actividad que aún no es socialmente validada para las mujeres.

La colaboración también es valorada cuando se presenta como mentoría o acompañamiento, en estos casos las entrevistadas se sienten agradecidas por el aprendizaje para emprender y mantener su negocio o hacerlo crecer; a esa satisfacción personal se suman el orgullo e interés para consolidar su optimismo y enfrentar los cambios. De igual forma, cuando Amanda comenta la responsabilidad y el gusto del reconocimiento derivado de la colaboración, remite nuevamente al concepto de los flujos ambivalentes sosteniendo la identidad de las emprendedoras y sus procesos de empoderamiento (Jiménez-Esquinas, 2017; Sadrnabavi

y Daneshvar, 2023). El trabajo conjunto aparece además como elemento vital para enfrentar el enojo o la irritación ante situaciones como la comentada por Sagrario o Janeth; la generación de espacios sororos es también reconocida como una de las estrategias para fortalecer a las emprendedoras (Ramos Delgado et al., 2022; Sadrnabavi y Daneshvar, 2023). Ellas agradecen la existencia de espacios para socializar la identidad de emprendedora, pero también las del resto de la vida cotidiana; lo anterior es significativo dado que diversas investigaciones han dado cuenta de las peripecias de balancear el rol de emprendedora y el de cuidadora (Díaz-Carrión y Vizcaino, 2021).

Como señaló Ahmed (2014), las emociones nos mueven y, a través de ellas, las emprendedoras construyen y negocian sus identidades y sus roles, sumando a ello la conceptualización de las emociones y afectos en flujos ambivalentes que permiten un espectro más amplio en el análisis (Jiménez-Esquinas, 2017) y contribuyen a una mayor comprensión del dinamismo del concepto de emprendimiento, uno donde las participantes negocian no solo su rol de emprendedora, sino también su rol de “mujer”.

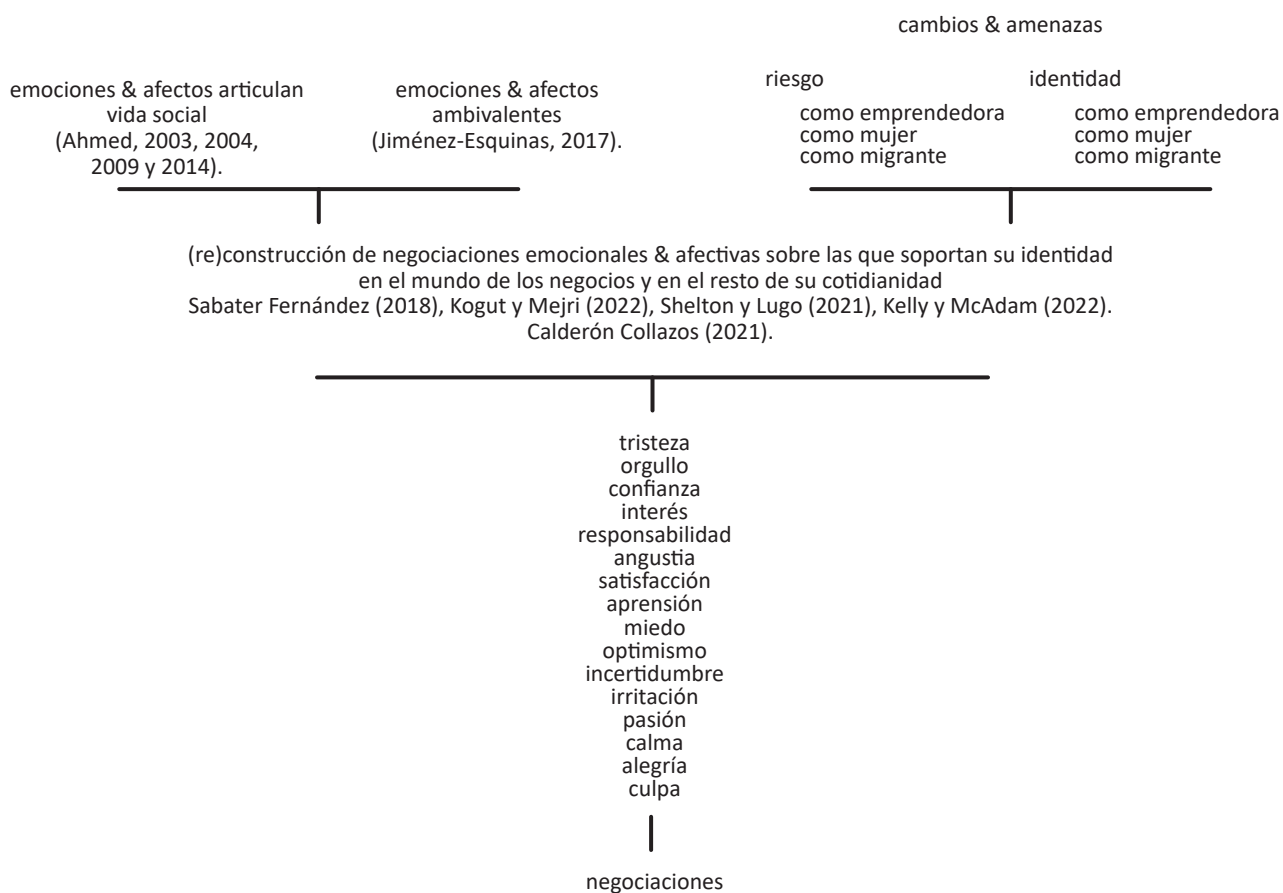
A partir de lo anterior, se propone el siguiente encuadre teórico para futuros estudios de emociones y afectos de las emprendedoras (ver **Figura 1**), en el cual se identifican los aspectos conceptuales de partida usados para esta investigación y los elementos básicos reportados por las entrevistadas.

Se destacan las aportaciones teóricas que contextualizan, por un lado, el rol de emociones/afectos en la vida cotidiana, señalado en diversas publicaciones por Sara Ahmed y, por otro, la ambivalencia de estas, desarrollada por Guadalupe Jiménez-Esquinas; a partir de estos fundamentos se señalan otras aportaciones básicas centradas en el mundo del emprendimiento. Estos planteamientos combinan, por un lado, el riesgo inherente a la acción emprendedora y, por el otro, la construcción de la identidad de unas emprendedoras que también considera otros roles.

Como aportaciones de la investigación, se destacan las diversas emociones y afectos vividos por las emprendedoras; tal como señala Ahmed, las emociones nos mueven y tienen un papel fundamental en nuestra vida social, y al complementar lo anterior con el planteamiento de Jiménez-Esquinas es posible analizar los varios matices y significados de las emociones/afectos en los procesos identitarios de las entrevistadas. Por ejemplo, destacando las tensiones entre el rol de emprendedora y el rol de cuidadora, o entre las imbricaciones de ser mujer y ser emprendedora exitosa.

Buscando superar esas tensiones, aparece la colaboración en sus distintas materializaciones, sean mentorías, acompañamientos o sororidad; las entrevistadas colaboran buscando superar las normas societales y con ello desmitificar al emprendimiento como una construcción masculinizada, avanzando hacia la conformación de identidades efectivamente elegidas y plenas.

Figura 1. Encuadre teórico para el análisis de las emociones y los afectos de las emprendedoras y su relación con los procesos identitarios



Conclusiones

Cada vez es mayor la presencia de las mujeres en el mundo del emprendimiento turístico; no obstante, continúan enfrentando diversas barreras sostenidas principalmente a través de estereotipos de género. El estudio de las emociones/afectos en el emprendimiento permite el análisis de las dinámicas con las que las mujeres negocian sus procesos identitarios y fortalecen su participación en el mundo de los negocios.

Las aportaciones de Ahmed (2003, 2004, 2009 y 2014), que destacan la mirada de género en las emociones y los afectos, su centralidad en la vida social, así como el constructo de flujos ambivalente de Jiménez-Esquinas (2017), resultan útiles en la promoción de acciones para deconstruir la construcción social del emprendimiento. En este sentido, el riesgo y la toma de decisiones en los negocios arrojan emociones y sus flujos ambivalentes desarrollados por las mujeres para construir su identidad emprendedora.

Las emociones van moldeando dicha identidad y aparecen categorías de mujeres que son exitosas, que confían en sus habilidades y conocimientos para mantenerse en los negocios, que construyen redes de apoyo y colaboración; son también mujeres que cuidan, en este caso de sus emprendimientos, pero además de sus afectos. El emprendimiento aparece como objeto de cuidados y en buena medida se desea un éxito que pueda ser compartido con el grupo doméstico nuclear o cercano.

Considerando lo anterior, futuras investigaciones podrían indagar sobre las emociones y los flujos ambivalentes del cuidado del negocio o del cuidado de las redes de colaboración y de espacios sororos, como elementos clave para promover la participación de las mujeres en el mundo del emprendimiento. Otro campo de estudios fértil es el de las emociones del balance de la vida cotidiana y cómo estas impactan en la identidad de las mujeres emprendedoras a lo largo de sus diferentes etapas de la vida.

Referencias

- Ahmed, S. (2003). The politics of fear in the making of worlds. *International Journal of Qualitative Studies in Education*, 16(3), 377–398. <https://doi.org/10.1080/0951839032000086745>
- (2004). *The Cultural Politics of Emotion*. Edinburgh University Press.
- (2009). Embodying diversity: Problems and paradoxes for Black feminists. *Race Ethnicity and Education*, 12(1), 41–52. <https://doi.org/10.1080/13613320802650931>
- (2014). *The Cultural Politics of Emotion*. Edinburgh University Press.
- Bakas, F. E. (2017). ‘A beautiful mess’: Reciprocity and positionality in gender and tourism research. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 33, 126–133. <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2017.09.009>
- Calderón Collazos, C. (2021). Reinversión de la mujer emprendedora: una reflexión desde su autonomía económica en Bolivia. *Investigación y Negocios*, 14(23), 137–151. <https://doi.org/10.38147/invneg.v14i23.132>
- Díaz-Carrión, I. A., y Vizcaino, P. (2021). Mexican women’s emotions to resist gender stereotypes in rural tourism work. *Tourism Geographies*, 24(2–3), 244–262. <https://doi.org/10.1080/14616688.2020.1867886>
- Evans, K., y Anderson, D. M. (2018). ‘It’s never turned me back’: Female mountain guides’ constraint negotiation. *Annals of Leisure Research*, 21(1), 9–31. <https://doi.org/10.1080/11745398.2016.1250649>
- Ferguson, L. (2010). Turismo, igualdad de género y empoderamiento de las mujeres en Centroamérica. *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global*, III, 123–133.
- Fernández-Aldecua, M. J., García-de-Fuentes, A., y Jouault, S. (2022). Gobernanza, redes y liderazgo en una cooperativa ecoturística maya de Yucatán, México. *Cooperativismo & Desarrollo*, 30(123), 1–31. <https://doi.org/10.16925/2382-4220.2022.02.02>
- Figuerroa-Domecq, C., Jong de, A., y Williams, A. M. (2020). Gender, tourism & entrepreneurship: A critical review. *Annals of Tourism Research*, 84, e102980. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.102980>
- Gómez Bañuelos, D., Huesca Reynoso, L., y Horbath Corredor, J. E. (2017). Estudio de la segregación ocupacional por razón de género en el sector turístico de México. *El Periplo Sustentable*, 33, 159–191. <https://rperiplo.uaemex.mx/article/view/4855/3265>
- Graneheim, U. H., Lindgren, B.-M., y Lundman, B. (2017). Methodological challenges in qualitative content analysis: A discussion paper. *Nurse Education Today*, 56, 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2017.06.002>
- Gutiérrez Cruz, M., Such Devesa, M. J., y Gabaldón Quiñones, P. (2020). La mujer emprendedora en el turismo rural: peculiaridades del caso costarricense a través de la revisión bibliográfica. *Cuadernos de Turismo*, 46, 185–214. <https://doi.org/10.6018/turismo.451691>
- Hosany, S., Martin, D., y Woodside, A. G. (2021). Emotions in Tourism: Theoretical Designs, Measurements, Analytics, and Interpretations. *Journal of Travel Research*, 60(7), 1391–1407. <https://doi.org/10.1177/0047287520937079>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). *ECOVIED-IE 2021 Encuesta sobre el Impacto Económico* Generado por COVID-19 en las Empresas Resultados Tercer Evento. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ecovidie/doc/PRECOVIDIER3.pdf> (consultado el 24 de octubre del 2022).
- Jiménez-Esquinas, G. (2017). “This is not only about culture”: On tourism, gender stereotypes and other affective fluxes. *Journal of Sustainable Tourism*, 25(3), 311–326. <https://doi.org/10.1080/09669582.2016.1206109>
- Kelly, G., y McAdam, M. (2022). Women Entrepreneurs Negotiating Identities in Liminal Digital Spaces. *Entrepreneurship Theory And Practice*, 47(5), 1942–1970. <https://doi.org/10.1177/10422587221115363>
- Kogut, C. S., y Mejri, K. M. (2022). Female entrepreneurship in emerging markets: challenges of running a business in turbulent contexts and times. *International Journal of Gender and Entrepreneurship*, 14(1), 95–116. <https://doi.org/10.1108/IJGE-03-2021-0052>
- Monteith, W., y Camfield, L. (2019). Business as family, family as business: Female entrepreneurship in Kampala, Uganda. *Geoforum*, 101, 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2019.03.003>
- Ojeda Gómez, Y., y Hernández Rodríguez, M. de L. (2023). Estado del conocimiento sobre la participación de mujeres indígenas en el turismo de América Latina. *El Periplo Sustentable*, 44, 72–84. <https://doi.org/10.36677/elperiplo.v0i44.16319>
- Paredes Hernández, S. P., Castillo Leal, M., y Saavedra García, M. L. (2019). Factores que influyen en el emprendimiento femenino en México. *Suma de Negocios*, 10(23), 158–167. <https://doi.org/10.14349/sumneg/2019.v10.n23.a8>
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative Research & Evaluation Methods*. SAGE.
- Peña-Ramírez, C., Garcés-Rodríguez, G., y Silva, S. S. da. (2020). Los emprendedores zombis: emprendimiento en etapa inicial que no crea empresa en el contexto latinoamericano. *Estudios Gerenciales*, 36(156), 351–363. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2020.156.3610>
- Pérez-Paredes, A., Palacios-Duarte, P. D., y Amado, T.-F. (2021). Expectativas y creencias de emprendedores mexicanos, a partir de una visión de género. *Tec Empresarial*, 15(2), 50–66. <https://doi.org/10.18845/te.v15i1.5675>
- Pérez Romero, M. E., Kido Cruz, A., y Flores Romero, M. B. (2021). Comportamiento salarial por género en nodos turísticos mexicanos. *Pasos*, 19(2), 303–321. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2021.19.020>
- Ramos Delgado, Y., Díaz-Carrión, I. A., y Gaggiotti, H. (2022). Mujeres emprendedoras y vulnerabilidad en Baja California (México). *AFIN*, 132(Enero), 1–12. https://ddd.uab.cat/pub/afin/afinSPA/afin_a2022m1n132iSPA.pdf
- Rodríguez Muñoz, G., y Acevedo Duarte, A. (2015). Cambios en la vida cotidiana de las mujeres a través de la incorporación al trabajo turístico en El Rosario, Michoacán, México. *El Periplo Sustentable*, 29(julio-diciembre), 5–33. <http://rperiplo.uaemex.mx/index.php/elperiplo/article/view/615>
- Sabater Fernández, C. (2018). La mujer emprendedora: identidad profesional y factores culturales de género. *Femeris*, 3(2), 55–78. <https://doi.org/10.20318/femeris.2018.4320>
- Sadrnabavi, F., y Daneshvar, H. (2023). Lived experiences of successful women entrepreneurs (SMEs) in Iran: a feminist phenomenological study. *Qualitative Research in Financial Markets*, 15(5), 712–731. <https://doi.org/10.1108/QRFM-12-2021-0198>
- Secretaría de Turismo (SECTUR). (2021). *Participación de mujeres en el turismo*. Dirección General de Integración de

- Información Sectorial. https://www.datatur.sectur.gob.mx/Documentos%20compartidos/Participacion_de_la_mujer_en_el_turismo_OMT.pdf
- Shelton, L. M., y Lugo, M. V. (2021). The Resilience Of Minority And Female Entrepreneurs: A Look At Ethnicity And Gender. *Journal of Developmental Entrepreneurship*, 24(04), 1–23. <https://doi.org/10.1142/S1084946721500266>
- Suárez-Gtz, G. M., Estrada Lugo, E. I. J., Serrano-Barquin, R., Pastor-Alfonso, M. J., y Sánchez Ramírez, G. (2022). El ecoturismo, ¿solución o parte del problema de la economía de cuidados? *Economía, Sociedad y Territorio*, XXII(68), 57–85. <https://doi.org/10.22136/est20221726>
- Torres Limas, V., Cruz Jiménez, G., y Castillo Nechar, M. (2022). Las mujeres como actores clave del sector turismo ante la pandemia COVID-19 en Donato Guerra, Estado de México. *Revista Realidad, Tendencias y Desafíos En Turismo*, 20(2), 49–70. <https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/condet/article/view/4533/61559>
- Tovilla Borraz, C. E., Zamora Lomeli, C. B., y Estrada Lugo, E. (2021). Artesanía textil, reciprocidad, liderazgo y reproducción social en Zinacantán, Chiapas. *Región y Sociedad*, 33, e1453. <https://doi.org/10.22198/rys2021/33/1453>
- Tucker, H. (2007). Undoing shame: Tourism and women's work in Turkey. *Journal of Tourism and Cultural Change*, 5(2), 87–105. <https://doi.org/10.2167/jtcc089.0>
- (2009). Recognizing emotion and its postcolonial potentialities: Discomfort and shame in a tourism encounter in Turkey. *Tourism Geographies*, 11(4), 444–461. <https://doi.org/10.1080/14616680903262612>
- Vizcaino-Suárez, L. P. (2018). Tourism as empowerment: Women artisan's experiences in central Mexico. In S. Cole (Ed.), *Gender equality and tourism: Beyond empowerment* (pp. 46–54). CABI.
- World Tourism Organization (UNWTO). (2019). *Global Report on Women in Tourism*. UNWTO.
- World Travel & Tourism Council (WTTC). (2021). *Global Declaration and Platform: Women's Equality and Leadership*. WTTC. <https://wttc.org/Portals/0/Documents/Reports/2021/2021%20Womens%20Initiative%20Declaration.pdf>
- Zamora Torres, A. I., Díaz Barajas, Y., y Jiménez Belmont, M. C. (2022). Emprendedoras en México en tiempos de pandemia. *Región y Sociedad*, 34, 1–25. <https://doi.org/10.22198/rys2022/34/1534>

Anexo 1. Características sociodemográficas de las emprendedoras entrevistadas y de los emprendimientos

1. Adamaris: 39 años, casada, con dos hijos de 10 y 7 años. Giro del negocio: preparación de alimentos y bebidas.
2. Amanda: 41 años, casada, con un hijo de 7 años, migrante nacional, voluntaria. Giro del negocio: servicios de apoyo al turismo.
3. Berenice: 30 años, separada, con una hija de 5 años, migrante nacional, involuntaria por la inseguridad. Giro del negocio: servicios de apoyo al turismo.
4. Celia: 24 años, madre soltera, con una hija de 2 años, migrante nacional, involuntaria por la inseguridad. Giro del negocio: elaboración y venta de artesanías.
5. Cristina: 28 años, soltera. Giro del negocio: preparación de alimentos y bebidas.
6. Dariana: 31 años, separada, migrante nacional, voluntaria. Giro del negocio: servicios de apoyo al turismo.
7. Dominique: 32 años, casada, con una hija de 7 años. Giro del negocio: servicios de apoyo al turismo.
8. Evelyn: 35 años, madre soltera, con un hijo de 6 años, migrante nacional, voluntaria. Giro del negocio: preparación de alimentos y bebidas.
9. Gabriela: 60 años, casada, con un hijo de 31 años y una hija de 27 años. Giro del negocio: servicios de apoyo al turismo.
10. Georgina: 44 años, casada, con un hijo de 19 años, migrante nacional, involuntaria por la inseguridad. Giro del negocio: servicios de apoyo al turismo.
11. Janeth: 29 años, unión libre, migrante internacional, involuntaria por la inseguridad. Giro del negocio: preparación de alimentos y bebidas.
12. Jimena: 23 años, unión libre. Giro del negocio: elaboración y venta de productos artesanales.
13. Karina: 36 años, divorciada, con un hijo de 4 años. Giro del negocio: elaboración de productos artesanales.
14. Kenia: 57 años, divorciada, con un hijo de 33 años. Giro del negocio: servicios de apoyo al turismo.
15. Lizeth: 32 años, casada, con una hija de 4 años. Giro del negocio: servicios de apoyo al turismo.
16. Marina: 42 años, soltera. Giro del negocio: elaboración de productos artesanales.
17. Olivia: 29 años, casada. Giro del negocio: elaboración de artesanías.
18. Paula: 44 años, casada, con un hijo de 7 años. Giro del negocio: preparación de alimentos y bebidas.
19. Regina: 51 años, soltera, migrante nacional, obligada por situación económica. Giro del negocio: preparación de alimentos y bebidas.
20. Samantha: 42 años, divorciada, con una hija de 15 años y un hijo de 13 años. Giro del negocio: servicios de apoyo al turismo.
21. Sagrario: 37 años, soltera. Giro del negocio: servicio de hospedaje.
22. Susana: 49 años, soltera. Giro del negocio: servicios de apoyo al turismo.
23. Wendy: 37 años, casada, con una hija de 6 años, migrante nacional, voluntaria. Giro del negocio: preparación de alimentos y bebidas para eventos.
24. Xiomara: 29 años, casada. Giro del negocio: servicios de apoyo al turismo.
25. Zaida: 34 años, madre soltera, con una hija de 9 años, migrante nacional, voluntaria. Giro del negocio: preparación de alimentos y bebidas.
26. Zulema: 43 años, separada, migrante internacional, obligada por situación económica. Giro del negocio: servicios de apoyo al turismo.



Declaratorias de desastres y pérdidas de producción agrícola. Un acercamiento a la vulnerabilidad productiva de Veracruz

Disaster declarations and agricultural production losses. An approach to the productive vulnerability of Veracruz

Ofelia Andrea Valdés-Rodríguez¹

Denise Soares²

Fernando Salas-Martínez^{1*}

¹El Colegio de Veracruz, México

²Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México

*Autor de correspondencia: fersamtz@gmail.com

Editor encargado: Dr. Oscar Frausto Martínez

Editora invitada: Dra. Ana Cecilia Travieso Bello

Recibido: 13 de agosto de 2024 - Aceptado: 30 de septiembre de 2024

Resumen

El estado de Veracruz es líder en producción agrícola de cultivos agroalimentarios. No obstante, cada año ocurren eventos que causan graves daños a la entidad. El objetivo de este trabajo es evaluar la dependencia entre las declaratorias de emergencia o desastre (DED) de los 12 municipios más afectados y la producción agrícola de temporal de los cinco cultivos más valiosos a nivel estatal. Para ello se relacionaron datos de producción agrícola de temporal de 2003 a 2022 contra declaratorias de desastre o emergencia ocurridas en los municipios bajo estudio. Los resultados indican que el cultivo con mayor superficie siniestrada es el maíz grano, con Texistepec el municipio más afectado por lluvias, seguido de Huayacocotla por nevadas o heladas. La sequía ocupa el segundo sitio asociado a siniestros en maíz en los municipios de Minatitlán, Álamo Temapache y Tuxpan. Los cultivos de frijol y chile verde tuvieron pérdidas por sequías y ciclones en los municipios de Tuxpan, Álamo Temapache y Minatitlán, mientras que el chile verde también tuvo pérdidas por heladas o nevadas en Huayacocotla. Asimismo, la papa tuvo decrementos en su rendimiento asociados a heladas o nevadas en Huayacocotla. El cultivo de naranja redujo sus rendimientos asociados a lluvias, ciclones tropicales, inundaciones y sequías. Mientras que los cultivos de caña de azúcar, limón, sorgo y copra no se asociaron con ninguna DED. El único municipio que no tuvo relaciones significativas entre DED y decrementos o pérdidas agrícolas fue San Andrés Tuxtla. Por lo que se concluye que los municipios más afectados en su producción agrícola se relacionan con los cultivos más vulnerables a fenómenos climáticos, tales como lluvias excesivas, ciclones tropicales, sequías y heladas o nevadas.

Palabras clave: Cultivos de temporal, Ciclones tropicales, Lluvias, Inundaciones, Nevadas

Abstract

The state of Veracruz is lider in agrifood production. Nevertheless, every year, events cause significant damage to the region. This work evaluates the dependency between emergency or disaster declarations (DED) in the 12 most affected municipalities and their rainfed agriculture production. This relationship was assessed by correlating the five most valuable crops in the 12 sites with their DED for 2003-2022. Results indicate that the crop with the highest damaged extension is corn grain, and Texistepec is the most affected municipality by rains, followed by Huayacocotla by low temperatures or snowfall. Drought occupies the second place, causing damage to corn in Minatitlán, Alamo Temapache, and Tuxpan. Beans and chili peppers suffered losses in Huayacocotla due to low temperatures or snowfall, while potato yield was affected by the same

phenomena. Orange reduced its yield by rains, tropical cyclones, floods, and droughts. Sugar cane, lemon, sorghum, and copra were unrelated to DED. Only San Andrés Tuxtla had no significant relationships with any DED and its production. It is concluded that the most affected municipalities sow vulnerable rainfed crops to rains, tropical cyclones, droughts, and low temperatures or snowfall.

Keywords: Rainfed crops, Tropical cyclones, Rains, Flood, Snow

Introducción

En México, de acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2024), el estado de Veracruz es el que mayor cantidad de Declaratorias de Emergencia o Desastre posee a nivel nacional desde el año 2001 hasta el 2024, con 152 declaratorias por arriba de Oaxaca, que ocupa el segundo sitio. Esto se debe a que es el Estado con mayores afectaciones por lluvias y ciclones tropicales, que son los fenómenos hidrometeorológicos que ocasionan las mayores causas de desastre o emergencia. Aunque estos datos actualmente solo consideran afectaciones a la población humana, es importante analizar su correspondencia con las posibles afectaciones agrícolas que suceden en los sitios donde se emitieron, ya que la entidad que proporciona las estadísticas agropecuarias, es decir el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), no indica las causas de las pérdidas ocurridas en sus registros (SIAP, 2024). Dicha situación impide ver la magnitud que ocasionan los desastres por fenómenos hidrometeorológicos sobre el campo mexicano.

Otro aspecto importante a considerar es que el estado de Veracruz es líder en producción agropecuaria y pesquera a nivel nacional, con 33 productos agroalimentarios en donde se encuentra entre los 10 primeros productores nacionales, de acuerdo con las últimas cifras publicadas por el SIAP (2023). Adicionalmente, es importante remarcar que el 84 % de los cultivos estatales se realiza mediante la modalidad de temporal, lo cual implica una mayor vulnerabilidad ante los fenómenos hidrometeorológicos que puedan ocurrir en esta entidad. Asimismo, aunque anteriormente se realizó un estudio sobre declaratorias de emergencia y productividad agrícola en el estado de Veracruz (Valdés-Rodríguez et al., 2023), hasta el momento no se han presentado datos sobre los efectos de las declaratorias por fenómenos hidrometeorológicos y sus posibles consecuencias agrícolas en los municipios más afectados. Esta información permitiría conocer los impactos de tales eventos en los sitios más vulnerados, para tomar medidas que mitiguen o reduzcan los efectos negativos a la población dedicada a las actividades agrícolas. El objetivo de esta investigación es rellenar esta brecha de información

y determinar las relaciones entre las declaratorias de emergencia o desastre por fenómenos hidrometeorológicos y la producción agrícola de temporal en los 12 municipios más afectados por declaratorias de emergencia o desastre durante el periodo 2003 a 2022.

Marco teórico

De acuerdo con el CENAPRED, se considera la emisión de una declaratoria de emergencia cuando un municipio o entidad federativa se encuentra vulnerable a algún agente natural perturbador, que implique riesgo o daño para la población; en cambio, se emite una declaratoria de desastre cuando ya se ha ocasionado un daño y este es superior a las capacidades locales para atenderlo, ya sean autoridades municipales o estatales. Por ambas declaratorias se considera que se requieren fondos externos para reparar los daños ocasionados por el fenómeno (CENAPRED, 2024). Las declaratorias se publican en el Diario Oficial de la Federación (DOF) y el CENAPRED mantiene las estadísticas de las mismas.

Se definen como cultivos de temporal todos aquellos que se producen únicamente bajo las condiciones ambientales del sitio, sin el uso de invernaderos ni la aplicación de riegos periódicos preestablecidos (SIAP, 2024). En esta investigación se considerarán solamente a los cultivos de temporal, por ser los más vulnerables a los fenómenos hidrometeorológicos, que son los que mayores afectaciones tienen en el estado de Veracruz.

Finalmente, el concepto de vulnerabilidad es eminentemente social, pues hace referencia a las características, habilidades y capacidades que les impide a los distintos grupos sociales disminuir los riesgos de una amenaza. De hecho, Mancera González & Egea Jiménez (2022), Valdés Gázquez (2021) y Ramos Ojeda (2019), entre otros estudiosos del tema, argumentan que a pesar de la génesis natural del desastre, este presenta un fuerte componente social y político, es decir, los desastres ocurren como consecuencia de decisiones políticas previas, relacionadas con incorrectas o insuficientes políticas sociales, económicas y ambientales.

La vulnerabilidad debilita las capacidades de resiliencia y adaptación social, dos factores clave para sortear de mejor manera los efectos adversos de los desastres (Moreno Salazar Calderón y Delgado Cabrera, 2022). La amenaza sobre los bienes, servicios y producción agrícola en la economía de Veracruz es una constante, debido a su ubicación geográfica y la dependencia de la producción primaria por parte de la población, lo que desde luego la vuelve sensible a las consecuencias de los eventos hidrometeorológicos. Las pérdidas en la producción agrícola traen consecuencias en ámbitos sociales, culturales y ecológicos, que son aspectos de fundamental importancia para la sobrevivencia de las familias de agricultores.

Región de estudio

El estado de Veracruz se ubica en la región centro este de México, sus coordenadas son: al norte 22°28'18" latitud norte (LN), al sur 17°08'13" LN, al este 93°36'29" latitud oeste (LO) y al oeste 98°40'5 LO; y representa el 3 % del territorio nacional. Debido a su extensión y orografía, se identifican 10 tipos de climas principales. Los más abundantes son los cálidos subhúmedos, con lluvias en verano, que se encuentran en el 54.13 % del territorio. De acuerdo con los datos más recientes emitidos por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el 32.15 % del territorio se destina para uso agrícola y el estado se divide en 212 municipios, con una población de 8 062 579 habitantes (INEGI, 2021).

Metodología

Información consultada y manejo de datos

Los datos sobre las declaratorias o emergencias municipales se obtuvieron del CENAPRED (2024), disponibles a partir del año 2001 y actualizados hasta el 2023. Para considerar los antecedentes históricos totales, se contabilizaron todas las declaratorias municipales y se seleccionaron los sitios con la mayor cantidad de declaratorias emitidas del 2001 al 2023. Los datos agrícolas municipales se obtuvieron del SIAP (SIAP, 2024), disponibles desde 2003 hasta 2022. Por lo que se trabajaron los años 2003 a 2022. Se identificaron los cultivos con mayor valor de producción estatal, considerando las sumas totales de los valores económicos de cada cultivo durante el periodo 2003 - 2022. De los cultivos con mayor valor, se seleccionaron cinco, considerando que fueran cosechados en los 12 municipios seleccionados. Para los municipios que no cultivasen alguno de los cinco cultivos seleccionados, se consideró un sexto cultivo con mayor valor económico, con la finalidad de que todos los sitios contaran al menos con cuatro cultivos representativos.

Una vez integrados los datos, se procesaron en el programa Excel 2016 para su posterior filtración y se realizaron macros en Vbasic para determinar sumas y promedios de las variables: superficie sembrada (ha), superficie cosechada (ha), superficie siniestrada (ha), rendimiento en toneladas por ha y valor de producción en pesos mexicanos (\$ MX) de cada municipio por año.

Las variables de superficie siniestrada y rendimiento promedio anual de producción por municipio se correlacionaron con sus declaratorias de desastre o emergencia emitidas en el año correspondiente. Para ello se utilizó la función de correlación de Spierman, con un nivel de significancia del 5 %, mediante macros en Excel 2016. Para los municipios y cultivos con correlaciones significativas entre superficie siniestrada y declaratorias de emergencia o desastre se estimaron los valores de las pérdidas para el año en el cual se originaron las declaratorias mediante la ecuación 1.

$$\text{Valor} = [\text{superficie siniestrada (ha)}] \cdot [\text{valor del cultivo (ha)}] \quad (1)$$

Donde: el valor del cultivo (ha) se obtuvo de dividir el valor total de la producción municipal durante el año entre la superficie total cosechada. Adicionalmente, también se consideraron las declaratorias emitidas con la etiqueta "Desastre Sagarpa", que era atribuida a las afectaciones agropecuarias hasta el año 2011, ya que no se tienen reportes posteriores (CENAPRED, 2024).

Con el fin de dilucidar los efectos de la producción agrícola sobre la población municipal, se investigó la superficie agrícola, la población económicamente activa, el porcentaje de la población dedicada a actividades primarias y el grado de marginación para cada uno de los municipios implicados. Los resultados se presentaron mediante tablas y cartografía para indicar la ubicación de las declaratorias y la producción municipal.

Resultados

La **Tabla 1** muestra la clasificación de las declaratorias en los 12 municipios del estado de Veracruz con mayor cantidad de las mismas. El mayor porcentaje de declaratorias en todos estos municipios se integra por las lluvias, que alcanzan su tasa más alta en Las Choapas, con el 73 % de todas las emitidas en este municipio. El menor porcentaje de lluvias se encontró en el municipio de Tuxpan, con el 42 %, mientras que los fenómenos con menor cantidad de declaratorias son las bajas temperaturas, que solo se reportan en dos municipios.

Tabla 1. Número de declaratorias por clasificación en los municipios con la mayor cantidad del estado de Veracruz durante el 2001 al 2023

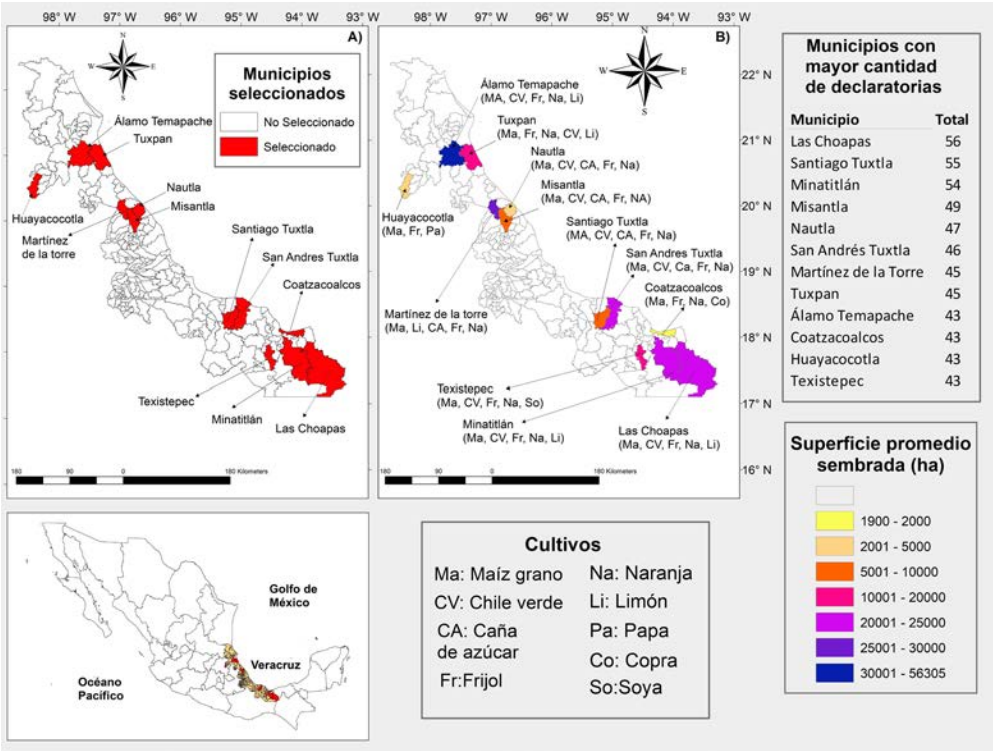
Municipio	Lluvias	Ciclones tropicales	Inundaciones	Fuertes vientos	Heladas, nevadas y granizadas	Bajas temperaturas	Sequías	Temperatura extrema
Las Choapas	41	5	8	0	0	0	2	0
Santiago Tuxtla	36	8	10	0	0	0	1	0
Minatitlán	33	8	10	1	0	0	2	0
Misantla	34	13	2	0	0	0	0	0
Nautla	22	18	5	0	0	0	2	0
San Andrés Tuxtla	31	9	6	0	0	0	0	0
Martínez de la Torre	24	13	5	1	0	0	0	2
Tuxpan	24	15	0	1	0	0	3	2
Álamo Temapache	18	13	5	1	0	0	4	2
Coatzacoalcos	30	6	2	3	0	1	1	0
Huayacocotla	20	11	0	0	5	3	2	2

La **Figura 1A** muestra la ubicación de los 12 municipios con mayor número de declaratorias en el estado de Veracruz. La mayor cantidad se encuentra en el sur del estado, con seis municipios por arriba de 42 declaratorias, mientras que al norte se ubican tres municipios y al centro también tres. En la **Figura 1B** se muestra la superficie promedio de siembra de los cultivos más valiosos en los 12 municipios seleccionados. La mayor superficie sembrada se ubica en Álamo Temapache, con la naranja en la mayor extensión (43 012 ha), seguida del maíz (13 117 ha). Martínez de la Torre dedica la mayor superficie al limón (14 392 ha) y a la naranja (12 086 ha). Las Choapas, Minatitlán, San Andrés Tuxtla y Texistepec dedican la mayor superficie al maíz, con 20 860 ha, 19 619 ha, 20 087 ha y 9 557 ha, respectivamente. Tuxpan dedica 5 213 ha a la naranja y 4 675 ha al maíz; seguido de Misantla, con 3 837 ha para maíz, 3 747 ha para chile verde y 1 008 ha para limón; Santiago Tuxtla, con maíz (7 458 ha) y caña de azúcar (693 ha), como

sus cultivos de mayor superficie; seguido de Huayacocotla, con maíz (4,500 ha), y Nautla con limón (776 ha), naranja (725 ha) y caña de azúcar (655 ha). El municipio que dedica la menor superficie de siembra es Coatzacoalcos, con 1970 ha, con maíz y copra como sus cultivos de mayor superficie.

En la **Tabla 2** se muestran los valores acumulados de los cultivos más altos a nivel estatal que se cosechan en los 12 municipios con mayor cantidad de declaratorias. Destaca el maíz grano con el mayor valor por su amplia extensión de siembra, seguido de la naranja y el chile verde. La copra (pulpa seca de coco), el sorgo y la papa son cultivos de alto valor que no se encuentran en los otros sitios, pero que son económicamente representativos de los municipios de Coatzacoalcos, Texistepec y Huayacocotla, respectivamente. Es importante aclarar también que el municipio de Huayacocotla intentó cultivar chile verde, pero se siniestró, por ello se presenta su valor en cero.

Figuras 1A. Ubicación de los municipios más afectados por declaratorias de emergencia o desastre del estado de Veracruz y **1B.** Superficie de siembra promedio de sus cultivos más valiosos durante el periodo 2003-2022



Fuentes: mapa base obtenido de INEGI (2022), declaratorias obtenidas de CENAPRED (2024) y producción agrícola del SIAP (2024)

Tabla 2. Totales acumulados (en millones de pesos mexicanos) por los cultivos de mayor valor económico en los municipios con mayor cantidad de declaratorias de desastre o emergencia del estado de Veracruz durante el 2003 al 2022

Municipio	Maíz grano	Chile verde	Caña de azúcar	Frijol	Naranja	Limón u otros
Las Choapas	2 663.10	235.18		117.49	18.36	12.97
Santiago Tuxtla	1 156.48	6.75	487.96	44.30	72,34	
Minatitlán	3 018.72	4.85		96.82	66.35	6.42
Misantla	568.20	18.24	212.65	24.98	1 707.50	
Nautla	65.59	31.35	261.81	7.36	309.28	
San Andrés Tuxtla	3 342.83	93.95	468.91	76.75	16.45	
Martínez de la Torre	62.15	13.35	291.99	6.66	4,022.36	
Tuxpan	699.75	300.08		65.67	1 970.85	34.47
Álamo Temapache	1 740.10	44.64		16.75	17 849.48	53.80

Municipio	Maíz grano	Chile verde	Caña de azúcar	Frijol	Naranja	Limón u otros
Coatzacoalcos	133.70			10.75	4.33	(Copra) 53.18
Huayacocotla	398.39	0.0		18.40		(Papa) 14.61
Texistepec	1 734.47	0.96		55.03	36.43	(Sorgo) 233.83

Fuente: datos compilados de las estadísticas del SIAP (2024)

Las correlaciones entre producción agrícola y declaratorias de emergencia o desastre se muestran en la **Tabla 3**. Los cultivos de limón, copra y sorgo no tuvieron significancias estadísticas entre superficies siniestradas ni rendimientos contra declaratorias de desastre. Por otra parte, el municipio de San Andrés Tuxtla no tuvo significancias estadísticas entre sus productos agrícolas y las declaratorias. Los cultivos con mayores afectaciones negativas por rendimiento fueron el maíz y la naranja, seguidos del chile verde, el frijol y la papa. Los eventos causantes de las mayores afectaciones fueron los ciclones tropicales, seguidos de las lluvias e inundaciones.

Tabla 3. Coeficientes de correlación estadísticamente significativos entre rendimiento y superficie siniestrada contra declaratorias de emergencia o desastre para el periodo 2003-2022

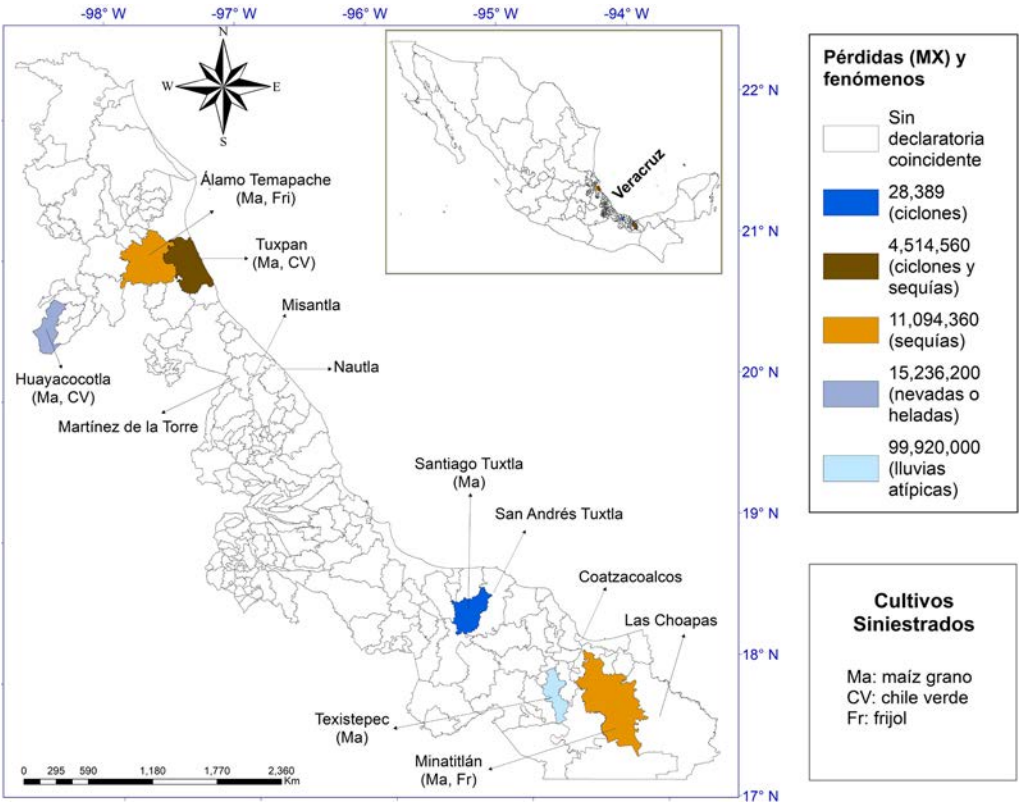
Municipio	Cultivo	Evento	Rendimiento	Siniestro
Misantla	Maíz grano	Ciclón tropical	-0.490	
		Inundación	-0.550	
Texistepec	Maíz grano	Lluvias		+0.721
		Naranja	Inundación	-0.468
	Naranja	Sequía	-0.667	
	Frijol	Inundación	0.452	
	Nautla	Naranja	Lluvias	-0.556
Coatzacoalcos	Frijol	Ciclón tropical	-0.468	
	Naranja	Ciclón tropical	-0.485	
Martínez de la Torre	Chile verde	Temperatura extrema	-0.622	
	Naranja	Inundación	-0.461	
Santiago Tuxtla	Maíz grano	Ciclón tropical		+0.514
	Chile verde	Lluvias	-0.657	

Municipio	Cultivo	Evento	Rendimiento Siniestro
Tuxpan	Maíz grano	Ciclón tropical	+0.631
Las Choapas	Chile verde	Lluvias	0.624
Álamo Temapache	Chile verde	Ciclón tropical	-0.526
		Ciclón tropical	-0.506
Huayacocotla	Papa	Nevadas, heladas,	-0.491
	Maíz	granizadas y bajas	+0.548
	Chile verde	temperaturas	+0.839

Los costos estimados por siniestros agrícolas relacionados con declaratorias de emergencia o desastre se muestran en la **Figura 2**. El cultivo con mayores pérdidas por superficie siniestrada asociada a declaratorias fue el maíz grano (\$214 492 951 MX), seguido del chile verde (\$13 192 875 MX) y el frijol (\$2 171 814 MX). Los otros cultivos no tuvieron correlaciones significativas y en el caso del limón, la naranja, la caña de azúcar y la copra no se reportaron superficies siniestradas. El municipio con las mayores pérdidas fue Texistepec, con superficies siniestradas de maíz grano por lluvias excesivas. El segundo sitio fue para Huayacocotla, por siniestros en maíz grano y chile verde asociados a heladas, nevadas o granizadas. Las sequías en Álamo Temapache y Minatitlán se asociaron con siniestros en maíz grano y frijol, mientras que el municipio de Tuxpan tuvo asociaciones con siniestros en maíz y chile verde por ciclones y sequías.

La **Tabla 4** muestra la superficie agrícola, el porcentaje de la población dedicada a actividades primarias y el grado de marginación de cada uno de los municipios bajo estudio. La menor superficie agrícola se ubica en Coatzacoalcos y la mayor en San Andrés Tuxtla. El municipio con mayor porcentaje de población en actividades primarias es Santiago Tuxtla y el menor, Coatzacoalcos.

Figura 2. Estimación de pérdidas por superficie siniestrada asociada a declaratorias de emergencia o desastre durante el periodo 2002-2023 en los 12 municipios con mayor cantidad de declaratorias



Fuente: mapa base obtenido de INEGI (2022), declaratorias obtenidas de CENAPRED (2024) y producción agrícola del SIAP (2024)

Tabla 4. Niveles de marginación y población dedicada a actividades agrícolas de los municipios con mayor cantidad de declaratorias por desastre o emergencia en el estado de Veracruz

Municipio	Superficie agrícola (km²)	Población económicamente activa	Porcentaje en actividades primarias	Grado de marginación
Las Choapas	166.4	36 438	32.6	Alto
Santiago Tuxtla	333.8	25 048	52.8	Medio
Minatitlán	134.7	69 541	17.5	Muy bajo
Misantla	220.1	32 321	21.9	Bajo
Nautla	90.2	4 643	46.7	Medio
San Andrés Tuxtla	398.1	72 293	25.9	Medio
Martínez de la Torre	340.5	54 344	21.2	Bajo

Municipio	Superficie agrícola (km ²)	Población económicamente activa	Porcentaje en actividades primarias	Grado de marginación
Tuxpan	253.3	74 959	12.1	Muy bajo
Álamo Temapache	788.8	40 833	31.3	Medio
Coatzacoalcos	9.8	156 210	1.0	Muy bajo
Huayacocotla	93.7	9 499	28.3	Alto
Texistepec	146.6	9 258	45.7	Alto

Fuente: datos obtenidos del compendio de Cuadernillos Municipales (CEIEG, 2023)

Discusión

Declaratorias y fenómenos hidrometeorológicos

Como se pudo apreciar en la **Figura 1**, los municipios con mayor cantidad de declaratorias por emergencia o desastre se ubican en áreas específicas del centro-norte y el sur del estado de Veracruz. Estos resultados tienen una estrecha relación con los fenómenos hidrometeorológicos que impactan en estas regiones. De acuerdo con registros históricos sobre trayectorias de huracanes, desde 1866 hasta la fecha se han documentado al menos 57 eventos que han impactado sobre la región centro-norte del estado, particularmente sobre Nautla y Tuxpan (NOAA, 2024). Aunque los municipios colindantes de Álamo Temapache, Misantla y Martínez de la Torre también se han visto afectados. Es por ello que estos municipios son los que mayor cantidad de declaratorias tienen por ciclones tropicales y lluvias (CENAPRED, 2024). Al oeste, también destaca el municipio de Huayacocotla, porque además de lluvias y ciclones tropicales, también tiene declaratorias por bajas temperaturas y heladas, nevadas o granizadas. Esto se debe a que este municipio se ubica en una región montañosa, con altitudes de hasta 2 800 m sobre el nivel del mar, por lo que más del 50 % de sus climas son templados, con temperaturas medias entre 12 y 22 °C (SIEGVER, 2023). Por otro lado, en el sur del estado, la mayor parte de las declaratorias por lluvias e inundaciones se deben a que esta región tiene también registros de trayectorias de huracanes desde 1888, con 35 reportes (NOAA, 2024). Tal situación se debe a que los huracanes del Océano Pacífico y del Atlántico pueden concluir sus trayectorias en este territorio, dado lo angosto del Istmo de Tehuantepec, lo que en su mayoría implica grandes cantidades de lluvia e inundaciones, debido a que en esta región existen zonas incluso por debajo del nivel del mar,

como es el caso de Las Choapas, y con abundantes cuencas hidrológicas (CEIEG, 2023; INEGI, 2021). Por otro lado, la presencia de sequías en una región donde predomina el clima húmedo es un indicativo de una transformación del paisaje natural, donde se han sustituido las selvas originales por asentamientos humanos, pastizales o tierras agrícolas, lo que induce cambios climáticos drásticos y menor retención de humedad ambiental, tal como se muestra en la región central del estado de Veracruz (Barradas et al., 2004; Salas-Martínez et al., 2020), en donde se ha demostrado que la sustitución de la cobertura vegetal por pastizales o tierras agrícolas generó alteraciones en el clima, que puede ser más seco y con precipitaciones menores.

Producción agrícola

Destaca que en todos los municipios se cultiva maíz, frijol y naranja. De estos, el maíz y la naranja se ubican en segundo y tercer sitio, respectivamente, como los cultivos más valiosos a nivel estatal, mientras que el frijol se ubica entre los primeros 15 (SIAP, 2024). Veracruz es líder nacional en producción de naranja, caña de azúcar y limón, y se encuentra entre los primeros 10 productores de papa, maíz grano y frijol, pero no en chile verde, sorgo grano ni copra. Esto se debe a que los líderes productores de sorgo y chile verde son los estados del centro y norte del país, donde más del 80 % de la agricultura es de riego, a diferencia de Veracruz, donde predomina la agricultura de temporal (SIAP, 2023), lo cual impacta en menores rendimientos, especialmente en el caso del chile verde, que requiere riego permanente (Aguirre-Mancilla et al., 2017). Por su parte, los mayores cultivos de coco, de donde se obtiene la copra, se ubican mayoritariamente en el Pacífico, donde tradicionalmente se elaboran productos derivados del mismo (AMEICOCO, 2024). En Veracruz solo tres municipios reportan datos del cultivo de coco, entre los

que se encuentra Coatzacoalcos, con el mayor rendimiento estatal (SIAP, 2024). Para todos estos cultivos, el estado de Veracruz posee regiones agroclimáticas adecuadas, dada la gran diversidad de climas de la entidad (INEGI, 2021). Asimismo, también se cuenta con variedades adaptadas a cada región, como es el caso del maíz y del frijol (Bada-Carbajal et al., 2021; Cruz et al., 2021) y se han desarrollado paquetes tecnológicos para los otros cultivos (INIFAP, 2017). Es por ello que la entidad es líder en producción agrícola de cítricos, piña y caña de azúcar, entre otros (SIAP, 2023).

Producción agrícola y declaratorias por fenómenos hidrometeorológicos

El cultivo con mayor relación entre declaratorias y superficie siniestrada es el maíz grano, que ya tiene antecedentes de ser muy vulnerable en el estado (Valdés-Rodríguez et al., 2023), en parte debido a que se siembra en todos los municipios bajo estudio y a que ocupa la mayor superficie en relación con los demás cultivos (SIAP, 2024). Sin embargo, también porque es una planta estacional y herbácea con límites de precipitación entre los 700 y 1 300 mm para tener un rendimiento óptimo, por lo que un déficit o exceso de lluvia repercuten inmediatamente sobre su producción. Asimismo, debido a su constitución es sensible a ser derribado (Díaz-Chuizuta et al., 2023), lo cual lo hace vulnerable a eventos como vientos fuertes, lluvias con viento o inundaciones, que fueron registrados en los municipios bajo estudio. En relación con las sequías, se encontró que las declaratorias etiquetadas como “desastre Sagarpa” (CENAPRED, 2024) coincidieron con superficies siniestradas en tres municipios, uno al sur y dos al norte del estado, lo cual es congruente con estudios previos sobre antecedentes de sequías reportados en los municipios del norte y sur de la entidad (Valdés-Rodríguez et al., 2021).

El chile verde, segundo en siniestros, es mucho más vulnerable que el maíz en cuanto a sus requerimientos hídricos y poca tolerancia a los eventos hidrometeorológicos, por ser una herbácea pequeña y frágil (Aguirre-Mancilla et al., 2017); no obstante, en este análisis, de los 11 municipios que lo han cultivado, solo tres lo han hecho en el 90 % o más veces del periodo, por lo que no se obtuvieron tantas significancias como con el maíz. Sin embargo, se obtuvo una correlación estadísticamente significativa entre superficie siniestrada y heladas o nevadas en el municipio de Huayacocotla, razón por la cual es posible que se abandonase su cultivo, ya que no se dieron registros posteriores a estas pérdidas (SIAP, 2024). Asimismo, las correlaciones negativas con las declaratorias por temperaturas extremas y ciclones tropicales son evidencia de que, de sembrarse en municipios con estos problemas, este cultivo tendría mayores pérdidas. Por otro lado, en Las Choapas las inundaciones fueron benéficas para obtener mejores rendimientos, lo cual también es una evidencia de su alto requerimiento hídrico y poca tolerancia a sequías

(Ruiz Corral et al., 2013). El frijol también es un cultivo herbáceo estacional de constitución frágil y muy sensible a sufrir daños por eventos hidrometeorológicos. No obstante, existen variedades para climas templados y tropicales, como es el caso del frijol Comapa, Tropical Negro y Verdín, de rápido crecimiento y alta tolerancia a sequía (Cruz et al., 2021). Sin embargo, no existen variedades resistentes a los ciclones tropicales, lo cual se evidencia con los resultados de esta investigación, por las correlaciones significativas y negativas entre productividad y ciclones en el municipio de Coatzacoalcos. Por otra parte, los decrementos en rendimiento y los siniestros reportados en Huayacocotla con maíz y chile verde son congruentes con la mayor cantidad de declaratorias por heladas, nevadas o granizadas y bajas temperaturas que se reportan en este municipio, dadas las temperaturas mínimas extremas que pueden ocurrir en las regiones más altas (SIEGVER, 2023). Aunque también destacan los efectos negativos de los ciclones tropicales y las nevadas sobre el cultivo de papa, que también es una herbácea de climas templados (INIFAP, 2017). Finalmente, la naranja, aunque no tuvo siniestros reportados, sí mostró sensibilidad por lluvias, inundaciones, ciclones y sequías. Esto debido a que este cultivo puede ser atacado por diversas enfermedades y plagas asociadas a cambios en temperaturas, exceso de humedad o sequías, que ocasionan menores rendimientos en su producción (Aguirre Áviles et al., 2021), así como también por su amplia extensión productiva en Veracruz (SIAP, 2023).

Producción agrícola y poblaciones afectadas por declaratorias

Al incluirse los datos socioeconómicos de los municipios, se puede considerar que los municipios más vulnerables a las pérdidas o decrementos en rendimientos agrícolas son Texistepec, Las Choapas y Huayacocotla, por su alto grado de marginación y su mayor porcentaje de población dedicada a las actividades primarias, lo cual incrementa la vulnerabilidad social en dichos municipios ante este tipo de fenómenos. En este sentido, se estima que la población dedicada al sector primario podría ser de 19 000 personas, representando al 15 % del total de la población económicamente activa en estos tres municipios (CEIEG, 2023). Es importante mencionar que, en los municipios antes descritos, Texistepec resulta altamente vulnerable porque tuvo el primer lugar en superficies siniestradas, superando seis veces el valor de las pérdidas de Huayacocotla, con el segundo sitio y declaratorias por nevadas o heladas, que en los demás municipios no se registran (CENAPRED, 2024; SIAP, 2024). Por el otro lado, el municipio con menor vulnerabilidad es Coatzacoalcos, con muy bajo grado de marginación, la menor extensión agrícola y el menor porcentaje de población dedicada a actividades primarias. Además, su cultivo más valioso (la copra) no se encontró afectado por las declaratorias. Con respecto a la administración gubernamental actual

(2019-2024), esta reconoce la vulnerabilidad que presenta el estado ante los fenómenos hidrometeorológicos y efectos del cambio climático. Dicha administración propuso como objetivo en su Plan Estatal de Desarrollo: “Implementar una política de prevención de riesgos de desastres para reducir el número de decesos, desapariciones, personas afectadas y pérdidas económicas, atendiendo las emergencias naturales con un enfoque diferenciado asociado a las vulnerabilidades de la población” (Gaceta-Oficial, 2019). Bajo este contexto, la creación de una cultura de prevención de riesgos representa una solución imperativa ante el impacto de los fenómenos que más se relacionan con afectaciones en zonas agrícolas, pérdidas económicas y vulnerabilidad social en los municipios más afectados.

Conclusión

Las declaratorias por emergencia o desastre ocurridas en los 12 municipios más afectados en el estado de Veracruz tienen una correlación directa con su producción agrícola de temporal, siendo el maíz grano el que mayores afectaciones presenta por superficies siniestradas a causa de ciclones, lluvias excesivas y sequías, así como decrementos en su rendimiento por estos mismos fenómenos y por inundaciones, heladas, nevadas o granizadas. El municipio más vulnerable asociado a estas pérdidas y decrementos es Texistepec, que tuvo las mayores pérdidas agrícolas de maíz, aunadas a un alto grado de marginación y porcentaje de su población dedicada a actividades primarias. Los cultivos de chile verde y frijol fueron segundos en superficies siniestradas por sequía, mientras que la naranja disminuyó su productividad por lluvias, ciclones tropicales, inundaciones y sequías, con Texistepec también afectado por estos fenómenos, así como Nautla y Martínez de la Torre, aunque estos últimos no se consideran tan vulnerables porque sus niveles de marginación son medio y bajo, respectivamente. La papa solo se siembra en Huayacocotla y es afectada en su rendimiento por heladas o bajas temperaturas. Finalmente, los cultivos de limón, caña de azúcar, sorgo y copra no tuvieron relaciones significativas con las declaratorias emitidas en sus municipios.

Referencias

- Aguirre-Mancilla, C., Iturriaga de la Fuente G., Ramírez-Pimentel J.G., Covarrubias-Prieto J., Chablé-Moreno F., & Raya-Pérez J.C. (2017). El chile (*C. annuum* L.), cultivo y producción de semilla. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México*, 5(1), 19–31. https://www.somecta.org.mx/Revistas/2017-1/2017-1/3_chileAguirre.pdf
- Aguirre Áviles, E. J., Uranga Valencia, L. P., Villareal Ramírez, V. H., Morales Morales, H. A., & Yañez Muñoz, R. M. (2021). Amenazas comunes de Naranja Valencia, una recopilación necesaria. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 9(2), 01–19. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v9i2.364>
- AMEICOCO (Asociación Mexicana de la Industria del Cocotero). (2024). *Sistema Producto Cocotero*. <https://ameicoco.org/estudios/#>
- Bada-Carbajal, L. M., Osorio-Antonia, J., & Ramírez-Hernández, Z. (2021). Evolución de la producción del maíz en Veracruz, México. *Investigación Administrativa*, 50–2(128), 1–16. <https://doi.org/10.35426/IAv50n128.07>
- Barradas, V. L., Cervantes Pérez, J., & Anyul, C. P. (2004). *Evidencia de un cambio climático en la región de las grandes montañas del estado de Veracruz, México*.
- CEIEG, C. de I. E. y G. del E. de V. (2023). *Cuadernillos Municipales 2023*. Gobierno del estado de Veracruz. <http://ceieg.veracruz.gob.mx/2023/08/31/cuadernillos-municipales-2023/>
- CENAPRED, (Centro Nacional de Prevención de Desastres). (2024). *Sistema de Consulta de Declaratorias. Sistema de Consulta de Declaratorias*. <http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/apps/Declaratorias/>
- Cruz, E., Jorge, C., Acosta, A., Luis, G., Muro, R., Antonio, J., & Wong, C. (2021). *Variedades de frijol (Phaseolus vulgaris L.) del INIFAP* (2a ed.). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. [https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_librotecnico/12277_5045_Variedades_de_Frijol_\(Phaseolus_vulgaris_L.\)_del_INIFAP.pdf](https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_librotecnico/12277_5045_Variedades_de_Frijol_(Phaseolus_vulgaris_L.)_del_INIFAP.pdf)
- Díaz-Chuquiza, P., Hidalgo-Melendez, E., Mendoza-Paredes, M., Cieza-ruiz, I., Jara-Calvo, T. W., & Valdés-Rodríguez, O. A. (2023). New thilinear hybrid of hard yellow corn for the Peruvian tropic. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), 1–18. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.51177>
- Gaceta-Oficial, G. del E. de V. (2019). *Plan Veracruzano de Desarrollo 2019 – 2024* (J. Díaz Ordaz Castro (ed.); 2019a ed.). Gobierno del Estado de Veracruz. <http://www.veracruz.gob.mx/programadegobierno/2019/06/06/plan-veracruzano-de-desarrollo-2019-2024/>
- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2021). *Aspectos geográficos Veracruz*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_30.pdf
- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2022). *Mapa topográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave*. Biblioteca digital de Mapas. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>
- INIFAP, (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias). (2017). *Agenda Técnica Agrícola De Veracruz*. En *Agenda Técnica Agrícola De Veracruz*. SAGARPA. https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_agendas/4147_4844_Agenda_Técnica_Veracruz_2017.pdf
- Mancera González, O. & Egea Jiménez (2022). Vulnerabilidad social y estrategias de afrontamiento de las familias desplazadas y reubicadas en Sonora y Sinaloa (noroeste de México). *Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. 26(2), 1-26. <https://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/36755/37922>
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2024). *Historical hurricane tracks*. <https://coast.noaa.gov/hurricanes/#map=5.51/20.377/-94.026&search=eyJzZWYyY2hTdHJpbmciOiJWZXhY3J1eiwgTcOpeGljbyIsInNYXJjaFR5cGUiOiJnZW9jb2RlZCIsIm9zbUeIjoiMj-QxNTc2MSIsImNhdGVnb3JpZXMiOiSDUjLCJlNCIsIkgzIiwSDiLCJlMSIsIllRTiwiVEQiXSwieWVhcnMiOiLsiMjAyM>

- Ramos Ojeda, D., (2019). Entendiendo la vulnerabilidad social: una mirada desde sus principales teóricos. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 7(1), 139-153. <https://www.redalyc.org/journal/5523/552364016005/552364016005.pdf>
- Ruiz Corral, J. A., Medina García, G., González Acuña, I. J., & Flores López, H. E. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos* (Ruíz Corral). INIFAP. https://www.researchgate.net/profile/Jose-Ruiz-Corral/publication/343047223_REQUERIMIENTOS_AGROECOLOGICOS_DE_CULTIVOS_2da_Edicion/links/5f1310e04585151299a4c447/REQUERIMIENTOS-AGROECOLOGICOS-DE-CULTIVOS-2da-Edicion.pdf
- Salas-Martínez, F., Valdés-Rodríguez, O. A., & Méndez-Pérez, M. (2020). Changes in temperature and rainfall caused by three crops in the state of Veracruz, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 26(2), 273–289. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.04.028>
- SIAP, (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). Panorama Agroalimentario 2023. *En Sistema de información agrícola y pesquera* (2023a ed., Vol. 1). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/siap/articulos/panorama-agroalimentario-2023-la-edicion-estadistica-mas-importante-del-sector-agroalimentario>
- SIAP, (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2024). *Estadística de Producción Agrícola*. SIAP. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- SIEGVER, (Sistema de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz). (2023). *Huayacocotla* (C. M. 2023 (ed.); 2023a ed.). Gobierno del Estado de Veracruz. http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2023/08/Huayacocotla.CM_Ver_.2023.2.pdf
- Valdés Gázquez, M. (2021). Vulnerabilidad social, genealogía del concepto. *Gazeta de Antropología*, 37(1). <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/68424/Gazeta-2021-37-1-articulo-01.pdf?sequence=2>
- Valdés-Rodríguez, O. A., Salas-Martínez, F., & Palacios-Wassenaar, O. M. (2023). Hydrometeorological Hazards on Crop Production in the State of Veracruz, Mexico. *Atmosphere*, 14(287), 1–23. <https://doi.org/10.3390/atmos14020287>
- Valdés-Rodríguez, O. A., Soares, D., & Vázquez-Aguirre, J. L. (2021). Encuentros y desencuentros en la evaluación de la sequía en Veracruz. En M. Hernández, G. Sosa, W. Rodríguez, & F. Martínez (Eds.), *Gestión de desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en sistemas socio-ecológicos* (1a ed., pp. 251–260). Conacyt. https://b6e4eff7-10bb-4ea2-a4f1-79086599e600.filesusr.com/ugd/70ca75_45e52bae8ecb4476abd4e777b2718e5d.pdf



Colaboración estratégica para la gestión de riesgos y resiliencia a escala local en México, en la voz de los expertos

Strategic collaboration for risk management and resilience at the local level in Mexico, in the voice of the experts

Adel Hafsi^{1*}

¹Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, Campus Cozumel. Quintana Roo, México

*Autora de correspondencia: adel.hafsi69@gmail.com

Editor encargado: Dr. Oscar Frausto Martínez

Editora invitada: Dra. Ana Cecilia Travieso Bello

Recibido: 16 de agosto de 2024 - Aceptado: 30 de septiembre de 2024

Resumen

Desde la adopción del marco de Sendai en 2015, la gestión del riesgo de desastres y la resiliencia han sido una preocupación global que ha llevado a los países a modificar y reforzar sus estrategias para garantizar la seguridad de sus territorios. No obstante, el informe de la ONU publicado el 13 de octubre de 2022 señala que la gran mayoría de los países aún no están preparados para enfrentarse a los riesgos de desastres. Sin embargo, México en su informe de medio término ha señalado que por su parte los resultados fueron altamente positivos con notables avances en el cumplimiento de los objetivos del marco de Sendai, lo cual contrasta drásticamente con los estudios académicos publicados durante los últimos años. Asimismo, estas discrepancias entre los informes de las instituciones públicas y los estudios científicos realizados traducen una necesidad de llevar a cabo investigaciones más profundas para evaluar el compromiso de los actores en materia de gestión de riesgos e identificar obstáculos, desafíos y áreas de oportunidad para el territorio nacional. Para ello, se desarrolló una encuesta de percepción de tipo mixto dirigida a expertos profesionales y académicos de la gestión de riesgos en México. La encuesta se centra en aplicar los preceptos de resistencia como concepto central del cuadro Sendai y retoma las prerrogativas del objetivo 19: la participación de la población, la efectividad de la colaboración entre actores, de las empresas privadas, la capacidad de respuesta de la población, la transferencia de conocimiento y la disponibilidad de recursos. El estudio ha permitido, a través de su evaluación, identificar las áreas vulnerables que impiden una colaboración estratégica para la gestión de riesgos y resiliencia y los principales retos que enfrentan las instituciones para alcanzarlas.

Palabras clave: GIRD, Sendai 2015-2030, Encuesta, Percepción, América latina

Abstract

Since the adoption of the Sendai framework in 2015, disaster risk management and resilience have been a global concern that has led countries to modify and strengthen their strategies in order to ensure the safety of their territories. However, the UN report published on October 13, 2022 points out that the vast majority of countries are still not prepared to face disaster risks. However, Mexico in its mid-term report has indicated that for its part the results were highly positive with notable progress in meeting the objectives of the Sendai framework, which contrasts drastically with the academic studies published during the last few years. Likewise, these discrepancies between the reports of public institutions and the scientific studies carried out translate into a need to carry out more in-depth research in order to evaluate the commitment of the actors in terms of risk management and to identify obstacles, challenges and areas of opportunities for the national territory. For this purpose, a perception survey of a mixed type was developed, aimed at professional and academic experts in risk management in Mexico. The survey focuses on applying the precepts of resilience as a central concept of the Sendai framework and takes up the prerogatives of objective 19: the participation of the population, the effectiveness of

collaboration between actors, of private companies, the response capacity of the population, the transfer of knowledge and the availability of resources. The study has allowed through its evaluation to identify the vulnerable areas that impede a strategic collaboration for risk and resilience management and the main challenges faced by the institutions to achieve them.

Keywords: ISDRM, Sendai 2015-2030, Survey, Perception, Latin America

Introducción

Tras 7 años de adoptar el marco internacional de Sendai, la ONU publicó el 13 de octubre de 2022 un informe alarmante señalando que más de la mitad de los países aún no estaban preparados para enfrentar los riesgos de catástrofe (UNDRR, 2022c). Cabe señalar que este anuncio se produce a 17 años de la implementación de los primeros acuerdos internacionales sobre gestión y reducción de riesgos, y a la mitad del plazo fijado para alcanzar los Objetivos del Marco de Sendai 2015-2030. Este marco se fundamenta con cuatro prioridades, que incluyen reducir el riesgo de desastres, fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres, invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia y mejorar la preparación, respuesta, recuperación, rehabilitación y reconstrucción ante desastres (UNDRR, 2015).

Pero, pese a los esfuerzos realizados para alcanzar estos objetivos, en los últimos 20 años los desastres han provocado un promedio de 45 000 pérdidas humanas al año, debido mayormente a fenómenos hidrometeorológicos y a las condiciones de vida de las poblaciones afectadas (Ritchie et al., 2022). Siguiendo lo anterior, las dinámicas espaciales de los últimos reportes identificaron a Asia y América latina, incluyendo el Caribe, como los territorios más afectados en cuanto al impacto socioeconómico registrado. En este contexto, el reporte “Panorama de los desastres en Latino América y El Caribe 2000-2022” señala que se han registrado más de 1500 desastres afectando a 190 millones de personas en la región (OCHA & UNDRR, 2023).

Desde 2023, México cuenta con el informe voluntario de medio término del Marco de Sendai para la ONU, el cual señala una mejoría de la situación a nivel nacional en materia de gestión de desastres incluyendo grandes avances como la reducción de la mortalidad, la reducción de las personas afectadas, la reducción de las pérdidas económicas, la reducción de daños infraestructurales, el aumento de las estrategias de reducción de riesgos de desastres y el aumento de la colaboración internacional (UNDRR, 2022a). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados, entre los años 2000 y 2022 en México se registró un total de 11 711 defunciones, 60 883 421 personas afectadas, 2 003 518 viviendas dañadas y 608 806 millones de pesos como total de daños (CENAPRED, 2022). Dentro del mismo periodo,

se han declarado 770 desastres, de los cuales los fenómenos hidrometeorológicos representaron 91.8 %, los geológicos 6.52 %, los químicos 1.52 % y los sanitarios 0.16 % (CENAPRED, 2023). Estas cifras contrastan los resultados del anterior informe y reconsideran la situación actual del país.

Además, diversas investigaciones dentro del territorio nacional apuntaron vulnerabilidades y líneas de reforzamiento que se apegan a los datos negativos de los resultados de las catástrofes. Por ejemplo, el estudio de riesgos de desastres por huracanes en la costa de Yucatán de los autores Soares and Valdés-Rodríguez (2022) han identificado vulnerabilidades en la educación, sensibilización de la comunidad y las instituciones a la gestión de desastres y una falta de articulación entre los actores. Asimismo, el estudio de gestión de riesgos de desastres hidrometeorológicos en Puerto Vallarta de Travieso Bello et al. (2023), también apunta una baja coordinación y comunicación entre los diferentes niveles del gobierno y los actores, un acceso limitado a recursos, así como instrumentos de planificación y gestión obsoletos y reactivos. Agregado a lo anterior, Ortega-Gaucin (2023) en su artículo “Riesgos climáticos y medioambientales: los mayores desafíos globales para la próxima década” identifica a las políticas públicas obsoletas, la falta de inversiones y la falta de enfoque pluridisciplinar como las mayores problemáticas que deben enfrentar los actores de la gestión de riesgos.

Finalmente, estas discrepancias entre los informes gubernamentales y los estudios académicos realizados hacen que se realicen investigaciones más detalladas y minuciosas para evaluar el compromiso de los actores en gestión de riesgos, generación del conocimiento, identificar obstáculos, desafíos y áreas de oportunidades. Así, el estudio pretende evaluar el estado de la colaboración estratégica para la gestión de riesgos y resiliencia a escala local de México a través de la percepción de actores académicos y expertos de la gestión del riesgo.

Metodología

1. Contexto de captura de la información

Para avanzar con el cumplimiento de los Objetivos del Marco de Sendai y fortalecer las respuestas de adaptación ante el cambio climático, se llevó a cabo el evento “11ª Reunión

nacional de la red de desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos: La curva de aprendizaje en la gestión multidimensional del riesgo” del 13 al 15 de septiembre del 2023 en la Escuela Superior de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Guerrero en Taxco, México.

Esta reunión nacional fue supervisada y dirigida por la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim), la Japan International Cooperation Agency (JICA), Protección Civil Veracruz, El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y La Universidad Autónoma de Guerrero. A través de su modalidad híbrida, el evento logró reunir un panel de expertos nacionales a los cuales se les aplicó una encuesta mixta para evaluar la colaboración estratégica para la gestión de riesgos y resiliencia a escala local en México.

2. Método de captura de la información

Considerando el objetivo de estudio y el contexto espacio temporal limitado, el estudio se realizó bajo un muestreo por conveniencia, por lo tanto, se buscó encuestar al número más amplio posible de participantes dentro del plazo del evento. En este sentido, se desarrolló un cuestionario conciso de siete preguntas cerradas y una de carácter libre. Para agilizar la toma de información, la aplicación fue cara cara o en línea (Google forms), esto tomando en cuenta los flujos y el tiempo de los participantes para responder. Se delimitó la selección de los encuestados considerando las

siguientes características: que fueran profesionales en el área de interés, investigadores, estudiantes de nivel superior o miembros de organizaciones civiles que se relacionan con la gestión y reducción del riesgo de desastres.

3. Tipo de encuestas

Considerando las necesidades de este estudio, se elaboró un cuestionario mixto de siete preguntas cerradas con ponderación de la escala de Likert y una pregunta abierta (**Tabla 1**). Los niveles de las primeras siete preguntas reflejan la intensidad con la que el encuestado percibe un fenómeno: Muy poco, Poco, Medio, Alto, Muy Alto. La última pregunta de la encuesta de carácter abierto se diseñó para obtener información más descriptiva y ejes de oportunidades u obstáculos que observaron los encuestados.

Para los fines del estudio, los indicadores que se tomaron en cuenta son los mencionados por el Marco de Sendai dentro del objetivo 19.E retomando la importancia de los mecanismos de coordinación como eje aplicativo de la gestión y reducción del riesgo. Los elementos para tomar en cuenta son los siguientes:

- Coordinación en todos los sectores
- Coordinación entre un sector y otro con los actores pertinentes
- Coordinación entre los niveles
- Participación de todas las instituciones
- Articulación clara de las responsabilidades de los actores públicos, privados y el sector académico

Tabla 1. Cuestionario de información sobre la gestión del riesgo y resiliencia

1	¿Qué importancia se le da a la educación y concienciación de la población sobre la resiliencia y los riesgos de desastres?	0	1	2	3	4
2	¿Cómo calificaría la capacidad de respuesta de la población ante desastres, incluyendo la preparación y evacuación?	0	1	2	3	4
3	¿Qué tan involucrada siente a la población en la planificación y ejecución de medidas de gestión de riesgos en su localidad?	0	1	2	3	4
4	¿Cuál es su percepción sobre la efectividad de la colaboración entre el gobierno local, el sector privado y las organizaciones comunitarias en la promoción de la resiliencia?	0	1	2	3	4
5	¿Cuál es su percepción sobre la disponibilidad de recursos financieros y tecnológicos en manos del sector público para apoyar la resiliencia en su localidad?	0	1	2	3	4
6	¿Qué grado de importancia se le da a la participación de las empresas privadas en la financiación y ejecución de proyectos de resiliencia en su comunidad?	0	1	2	3	4
7	¿En qué medida considera que se utilizan los avances científicos y tecnológicos para mejorar la gestión de riesgos y la resiliencia en su localidad?	0	1	2	3	4
8	¿Cuáles considera que son los principales obstáculos que impiden una colaboración más efectiva entre la población, el sector privado y los actores gubernamentales en la promoción de la resiliencia?	Escribe tu respuesta aquí:				

Cada pregunta analiza una perspectiva de colaboración diferente, incluyendo la participación de la población, la efectividad de la colaboración entre actores, la participación de las empresas privadas, la capacidad de respuesta de la población, la transferencia de conocimiento y la disponibilidad de recursos.

Asimismo, se solicitó a los encuestados que seleccionaran del 0 al 4, su nivel de percepción de cada una de las primeras siete cuestiones. Los puntajes fueron dados de la siguiente manera:

- 0 para “muy poco”
- 1 para “poco”
- 2 para “medio”
- 3 para “alto”
- 4 para “muy alto”

La pregunta 8 es la única de carácter abierto, lo que permitió a los encuestados desarrollar su respuesta en texto libre, facilitando así la recopilación de información valiosa para enriquecer el estudio.

Además, para analizar y dar más relieve a los discursos, se añadió información demográfica recopilando los datos de los encuestados como su afiliación profesional, lugar de trabajo, sector de especialización, nivel educativo y sexo de la persona.

4. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó en tres etapas. En la primera etapa se organizaron los datos demográficos para un análisis cuantitativo descriptivo. Los datos se exportaron a dos softwares, el primero es Microsoft Excel con el cual se elaboraron las gráficas de tendencias. El segundo es el sistema de información geográfica QGIS para realizar mapas de análisis espacial de los lugares de trabajo de los encuestados.

En la segunda etapa se analizaron las respuestas a las primeras siete preguntas, obteniendo respuestas de cinco niveles de acuerdo con el modelo escalar de Likert. El análisis de datos se realizó a través del software Excel aplicando la siguiente fórmula para el promedio de respuesta para cada pregunta:

$$PpC = \frac{\sum C_i}{Max \{ \sum C_i \}} * 100$$

En donde, el resultado para cada pregunta o “Percepción por Cuestión” (*PpC*) se representa en porcentaje calculando la sumatoria del puntaje obtenido en las respuestas de los siete cuestionamientos (C_i), dividido por la sumatoria del puntaje máximo esperado (en este caso se esperaban 184 puntos) y posteriormente multiplicado por 100.

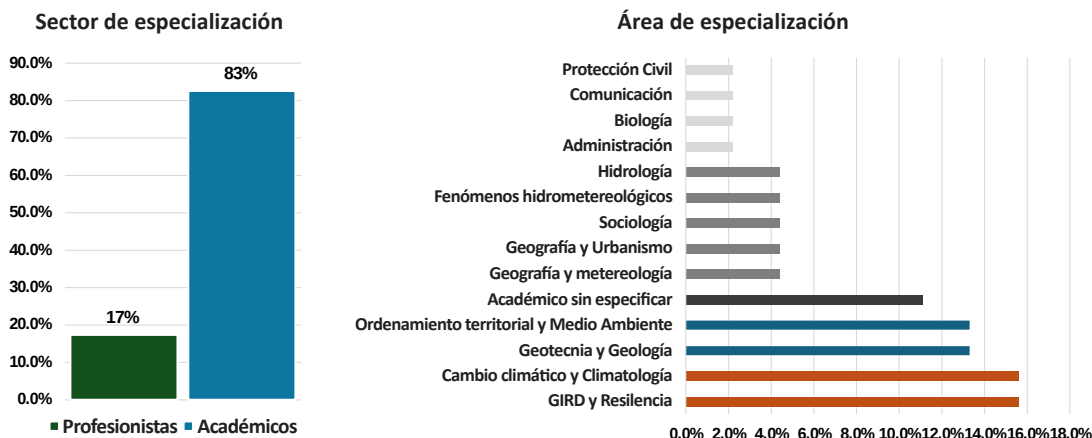
Por otra parte, la pregunta 8, de carácter abierto y cualitativo, se analizó a través del software Atlas Ti. El proceso fue deductivo con uso de codificación abierto, convirtiendo los datos en componentes pequeños y discretos, se codificó cada dato aportado por el encuestado con una etiqueta descriptiva, finalmente se buscaron conexiones y relaciones entre los códigos.

Resultados

1. Perfil de los encuestados

Durante los 3 días del evento, se logró aplicar un total de 46 cuestionarios, de los cuales 14 fueron recopilados en línea a través del Google forms y 32 de manera presencial en la sede del congreso. De los 46 cuestionarios, 17.4 % fueron contestados por profesionistas y 82.6 % por académicos provenientes de áreas y sectores pluridisciplinarios (**Figura 1**).

Figura 1. Sector de especialización de los encuestados



Dentro del panel de entrevistados se pudieron destacar 14 áreas de especialización, de las cuales las más representadas son de la gestión integral del riesgo y resiliencia, el cambio climático y climatología, la geotecnia y geología, y el ordenamiento territorial y medio ambiente. Por otro lado, se pudo observar una disparidad ligera entre el sexo de los encuestados con 56.5 % de hombres y 43.5 % de mujeres (**Figura 2**). Analizando todo lo anterior, se infiere que el perfil de los encuestados proporciona una visión diversa y representativa de los expertos en gestión de riesgos y resiliencia en México. La mayoría de los encuestados son académicos, lo que sugiere que sus percepciones están muy influenciadas por conocimientos teóricos y prácticos obtenidos con la investigación generada desde niveles de educación superior.

Además, la **Figura 2** proporciona un diagrama del nivel educativo de los participantes a la encuesta. Los niveles identificados, de mayor a menor frecuencia, son el doctorado con 40.4 %, el nivel maestría 23.4 %, el nivel licenciatura 31.9 %, el nivel preparatoria con 2.1 % y el nivel ingeniería con 2.1 %. Esta alta diversidad también se pudo observar a través del análisis espacial de las localidades de proveniencia de los encuestados, lo cual sugiere una alta gama de experiencias y perspectivas (**Figura 3**). Además, cabe señalar que se observa una alta proporción de participantes con doctorado (40.4 %) y maestría (23.4 %) lo que resalta una profundidad del conocimiento y la especialización en el área, aportando un contexto sólido para interpretar sus resultados y comprender los desafíos locales.

En la **Figura 3** se pueden distinguir tres polos de concentración, de los cuales el más representado es el centro del país con 14 localidades, seguido de la península de Yucatán con cuatro localidades y finalmente el noroeste con dos localidades. La alta participación de las localidades del centro de México se puede explicar por la cercanía con la

sede del evento, facilitando el acceso a los participantes de las zonas cercanas. Considerando lo anterior, la distribución geográfica de los encuestados, con una mayor concentración en el centro del país, indica una posible centralización de recursos y conocimientos en estas áreas, lo que puede influir en la percepción y la implementación de estrategias de gestión de riesgos y resiliencia.

Figura 3. Mapa de ubicación del lugar de trabajo de los encuestados



2. Evaluación

Capacidades comunitarias

La evaluación se presenta en cinco apartados: capacidades comunitarias, colaboración entre los actores, recursos disponibles, transferencia del conocimiento e identificación de los retos locales. El primer apartado de

Figura 2. Sexo y nivel educativo de los encuestados

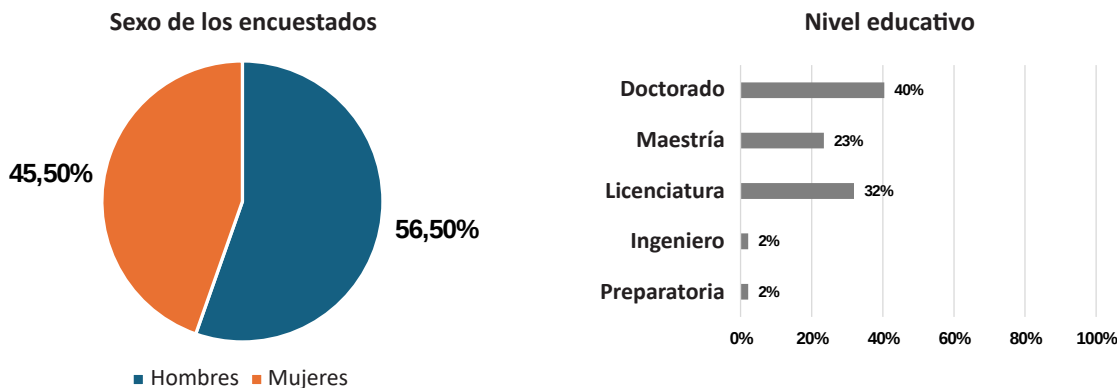
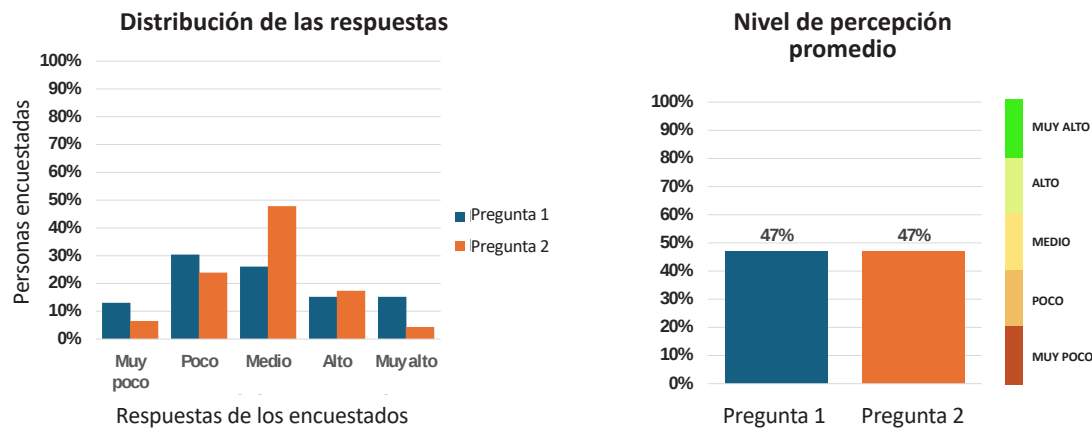


Figura 4. Capacidades comunitarias



capacidades comunitarias se compone de dos gráficas (Figura 4). La pregunta 1 hace referencia a la importancia que se le da a la educación y sensibilización de la población en materia de gestión y reducción del riesgo, mientras que la segunda se enfoca directamente en el nivel de capacidades de respuesta de los individuos ante un evento catastrófico.

En ambas cuestiones se obtuvo un nivel medio con el 47 % de impacto positivo percibido por parte de los encuestados, con una distribución normal de las respuestas. Estos resultados están en sintonía y reflejan una continuidad entre la fase de preparación, sensibilización y la fase de respuesta de las comunidades. Además, poniendo de relieve el resultado y el calendario del Marco Internacional de Sendai (2015-2030), el resultado se puede considerar aceptable, ya que aún se cuenta con otros 5 años previstos para reforzar

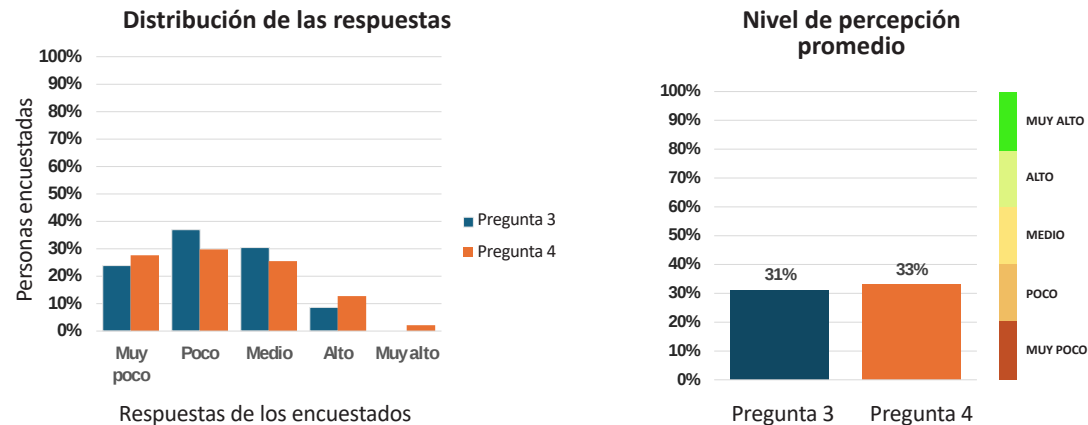
la situación y aumentar la respuesta positiva en estas dos percepciones.

Colaboración entre los actores

Llegar a cumplir con las expectativas internacionales involucra una intención y una colaboración de los actores que forman parte de la localidad. En este sentido, la Figura 5 presenta dos gráficas aportando información valiosa sobre el nivel de participación de la población representado por la pregunta 3 y la efectividad de las colaboraciones entre el sector público, privado y la comunidad representada por la pregunta 4.

Con los resultados obtenidos en ambas cuestiones, se observa que la colaboración entre actores muestra una percepción de poca participación comunitaria (31 %) y baja

Figura 5. Colaboración entre los actores



efectividad en las relaciones entre el sector público, privado y la comunidad (33 %). Esta situación podría traducirse como un desafío significativo en la implementación de estrategias de gestión de riesgos y resiliencia. En este sentido, la falta de participación comunitaria y la ineficacia en la colaboración intersectorial serían algunos de los diversos factores que impiden el avance hacia los objetivos del Marco de Sendai.

Recursos disponibles

El alcance de los objetivos depende de la voluntad institucional y política, así como de los recursos económicos disponibles para implementar los planes. En este sentido, la **Figura 6** representa la percepción de los encuestados en la accesibilidad de recursos disponibles para la implementación de planes (pregunta 5) y el nivel de participación del sector privado en proyectos (pregunta 6).

Los recursos disponibles para la gestión de riesgos y resiliencia se perciben como insuficientes, tanto por el sector público como por el privado. Esta limitación connota una obstaculización significativa en la capacidad de las localidades para implementar medidas efectivas de preparación y respuesta ante diversos riesgos, traduciéndose posteriormente en desastres con mayor impacto socioeconómico.

Transferencia de conocimiento y sinergia

Basado en lo anterior, la falta de recursos financieros señala la necesidad de impulsar la disponibilidad de recursos para adecuar planes de desarrollo basados en estos. La **Figura 7** presenta una gráfica sobre el grado de utilización de los avances científicos y tecnológicos generados para una mejoría de implementación en la localidad (Pregunta 7).

Figura 6. Recursos disponibles

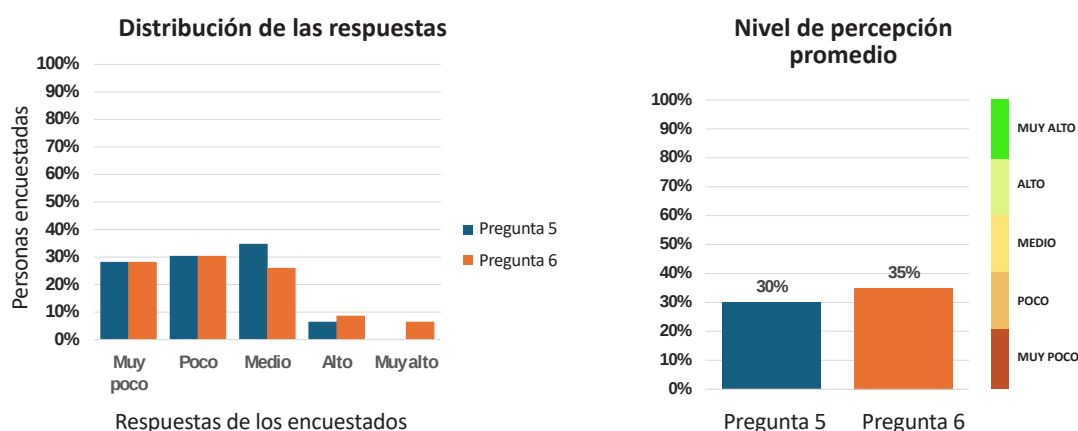
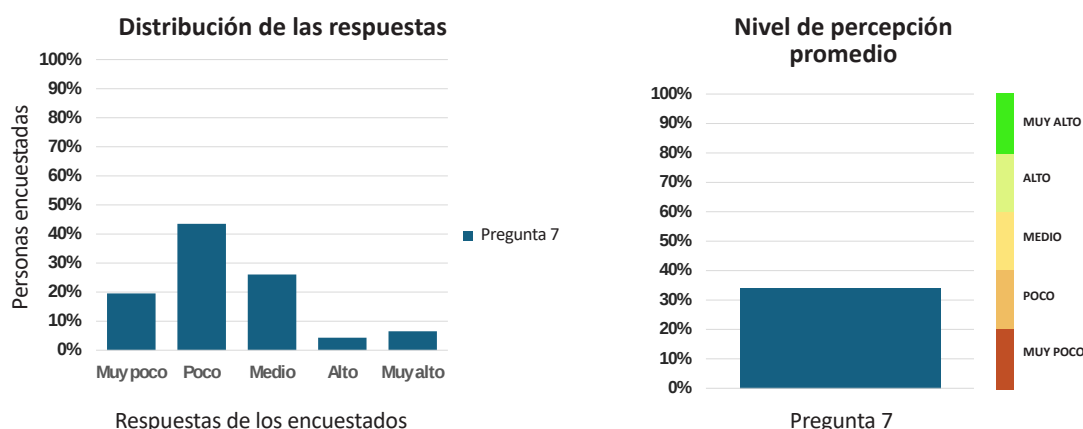


Figura 7. Transferencia de conocimiento y sinergia



Se percibe poca transferencia de conocimientos hacia la gestión de riesgos con un 34 % de respuesta positiva, quedando por debajo de las expectativas bajo la premisa de marcos internacionales. Estos resultados siguen la dinámica de la colaboración entre actores y la disponibilidad de recursos con poca transferencia de conocimiento y tecnología a escala local. Finalmente, aunque se reconozcan algunos avances científicos, los resultados sugieren que aún queda un gran margen en la generación de estrategias para la integración de estos recursos en las prácticas locales en materia de gestión de riesgos.

Análisis de los retos locales

De las 46 respuestas registradas para la pregunta 8 (¿Cuáles considera que son los principales obstáculos que impiden una colaboración más efectiva entre la población, el sector privado y los actores gubernamentales en la promoción de la resiliencia?) se identificaron 20 retos principales que los encuestados señalaron como impedimento para una colaboración más efectiva entre la población, el sector privado y los actores gubernamentales en la promoción de la resiliencia (**Figura 8**).

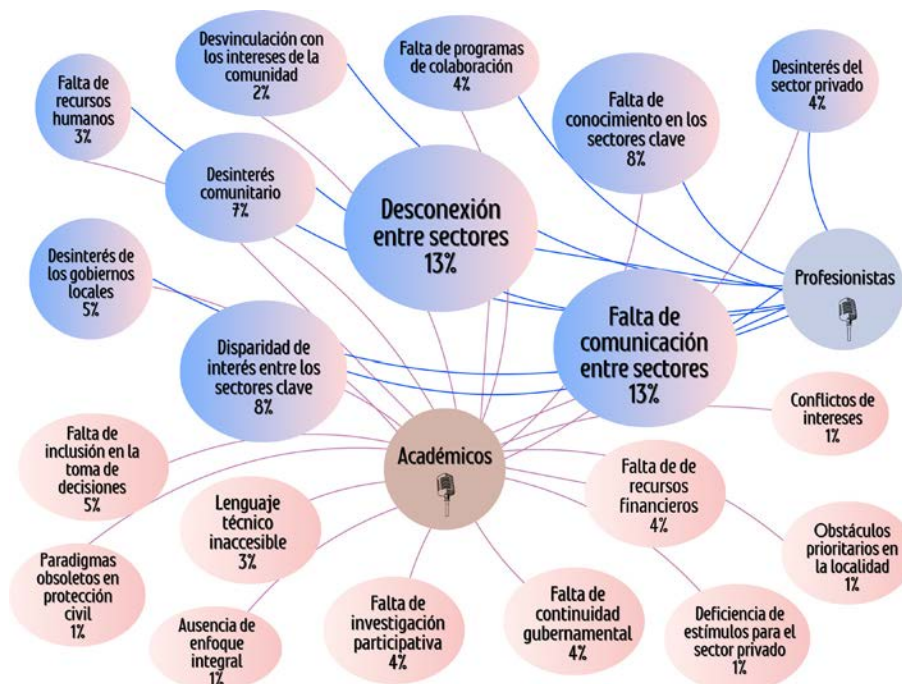
Las respuestas de los encuestados fueron agrupadas en dos grupos, el de académicos y el de profesionistas. El primero se refiere a aquellos investigadores adjuntos a una institución educativa de nivel superior (color rosado), y el

segundo grupo delimitado por personal de instituciones públicas o privadas vinculadas a la gestión de riesgos de manera directa o indirecta (color azul). De los 20 retos observados, ambos grupos convergieron en 10 (óvalos con gradiente azul-rosado), de los cuales los retos más citados fueron: la desconexión entre sectores con 13 % de frecuencia, la falta de comunicación entre los sectores con 13 %, la falta de conocimiento en los sectores claves con 8 % y la disparidad de intereses entre los sectores con 8 %, entre otros.

Por otro lado, la identificación del resto de los obstáculos fue generada únicamente por el sector académico, dentro de los cuales se destacan retos como la falta de recursos financieros, la falta de inclusión en la toma de decisiones, la falta de investigación participativa o la falta de continuidad gubernamental, entre otros. El aporte del grupo de académicos, nos indica una visión multidisciplinar y con mayor especialización a comparación del grupo de profesionistas permitiendo enriquecer la comprensión de los desafíos enfrentados.

En resumen, estos factores indican que, para mejorar la gestión de riesgos y la resiliencia, es fundamental actualizar las políticas, incrementar las inversiones y fomentar una colaboración más integrada entre diversos sectores y disciplinas. Abordar estos retos permitirá una respuesta más coordinada y efectiva ante desastres, alineándose mejor con los objetivos del Marco de Sendai.

Figura 8. Retos locales



Discusión y conclusión

A pesar del formato breve del cuestionario, su estructura y su densidad generaron un panorama ecléctico, tanto en la composición de los encuestados como en los resultados obtenidos. La encuesta permitió secuenciar el estado de la gestión de riesgos y resiliencia a nivel local a través del prisma ocular de los actores que trabajan directamente en los sitios de acción. Los primeros resultados relevan una capacidad comunitaria media, poca transferencia de conocimiento y sinergia, pocos recursos disponibles para la GIRD y poca colaboración entre los actores. Estos datos apuntan hacia un retraso en el cumplimiento de los objetivos del marco de Sendai, pero también se asemejan a las investigaciones reciente de evaluación de resiliencia en el territorio nacional (Frausto et al., 2018; Hafsi et al., 2020, 2023; Solís, 2023).

Por otro lado, el discurso político de la gestión del riesgo en México y la adscripción a las agendas internacionales promueven una visión de la GIRD bajo la perspectiva de resiliencia y reforzamiento de las capacidades adaptativas (DOF, 2012; PNUD, 2022; UNDRR, 2022b). Sin embargo, en práctica, la estructura jerárquica vertical, las acciones orientadas hacia el control de la amenaza y los flujos de gestión de arriba hacia abajo que implementan, reflejan todavía un enraizamiento fundamental con un paradigma obsoleto visible a través de los resultados del estudio (**Figuras 4-8**).

Asimismo, se identifican dos paradigmas principales que coexisten en la GIRD, un paradigma discursivo ligado a la resiliencia y un paradigma de acción más centrado en las amenazas, pero podríamos añadir un tercer paradigma más empleado por los investigadores académicos, el de la vulnerabilidad global. Esta cohabitación de paradigmas dentro de la gestión del riesgo no es nueva y ha sido observada y descrita ampliamente en varios estudios internacionales (Boudières, 2009; Chouraqui, 2018; Quenault, 2015; Texier, 2009). Otros investigadores en humanidades y ciencias sociales, como Livet (2009), adoptan un enfoque diferente y prefieren ver esta superposición de paradigmas como una evolución necesaria a través de etapas de mejora, lo que también se conoce como conmutatividad dinámica.

Esta visión evolutiva de la GIRD remite indirectamente al nivel de desarrollo de los Estados y a las capacidades financieras de estos para invertir en su resiliencia. Asimismo, el retraso de los países en desarrollo, la complicada generación y actualización de instrumentos para medir los peligros y la consolidación de sus infraestructuras en todo el territorio, les dificulta invertir de forma más sostenible para reforzar la resiliencia de las comunidades (Zorn, 2018).

Por último, la falta de compromiso y de obligaciones de los marcos internacionales hace posible este doble discurso y que se generen promesas de objetivos inalcanzables en un

periodo tan corto. Precisamente, el reciente informe de Unies (2023) va en esta dirección revelando un retraso generalizado sobre los objetivos fijados por la mayoría de los países, reportando que las zonas más afectadas por la ineficacia de las acciones emprendidas a nivel local, los países en vías de desarrollo, los estados insulares y África.

Además, los eventos geológicos e hidrometeorológicos de la última década, como el sismo en México en septiembre del 2017 y el paso del huracán Otis por Acapulco en octubre del 2023, han destacado los desafíos persistentes en la gestión de riesgos en el país (DOF, 2019, 2023). La capacidad de absorción de impactos y recuperación posdesastre del sistema se ha visto comprometida por la falta de una estrategia integral, evidenciando la necesidad del cambio de paradigma con el que se desarrollan las herramientas territoriales, así como una planeación en “T” donde todos los involucrados participen (Santos-Reyes, 2019). La reflexión sobre estos eventos insta a una acción proactiva coordinada bajo visiones integradoras para fortalecer las capacidades de resiliencia y adaptación ante los inevitables desafíos que plantean las condiciones ambientales actuales (Santos-Reyes & Gouzeva, 2020; Tena-Colunga, 2021).

Finalmente, basado en lo mencionado anteriormente y en los retos múltiples desglosados en la **Figura 8**, se abren nuevas líneas de investigación como “la elaboración de planes de reforzamiento de sinergias entre actores”, “la federación de los actores y de sus intereses alrededor de un proyecto común participativo”, “el desarrollo de un discurso universal para su larga difusión y capacitación de los actores”, “el uso eficiente de los recursos disponibles”, así como “la innovación y propuestas de nuevas dinámicas locales con estructuras horizontales” tomando en cuenta los paradigmas obsoletos en función.

Referencias

- Boudières, V. (2009). *De la gestion des risques aux risques de leur gestion dans les territoires touristiques de montagne, Modalités de gestion du risque d'avalanches dans les Alpes françaises et facteurs de vulnérabilité associés*. Université Joseph-Fourier - Grenoble IJ. HAL Open Science. https://theses.hal.science/file/index/docid/370162/filename/manuscrit_these_V_Boudieres.pdf
- CENAPRED. (2022). *Base de datos sobre el impacto socioeconómico de los daños y pérdidas ocasionados por los desastres en México de 2000 a 2022*. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/descargas.html>
- CENAPRED. (2023). *Base de datos de declaratorias de 2000 a 2023*. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/apps/Declaratorias/>
- Chouraqui, F. (2018). *Dans la bouche de Fogo: la résilience à l'épreuve des résistances et jeux de pouvoir sur un territoire volcanique: une approche participative et audiovisuelle*. <http://www.theses.fr/2018TOU20025/document>

- DOF. (2012). *LEY GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL, Capítulo I, Disposiciones Generales*. Retrieved from: https://www.dof.gob.mx/nota_to_doc.php?codnota=5249856
- DOF. (2019). *ACUERDO por el que se emiten los Lineamientos Generales del Programa Nacional de Reconstrucción para el ejercicio fiscal 2019*. Retrieved from: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5555144&fecha=26/03/2019#gsc.tab=0
- DOF. (2023). *DECLARATORIA de Desastre Natural por la ocurrencia de lluvia severa, vientos fuertes, inundación fluvial y pluvial el 24 y 25 de octubre de 2023 en 47 municipios del Estado de Guerrero*. Retrieved from: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5707457&fecha=02/11/2023#gsc.tab=0
- Frausto, M. O., Tun Chim, J., Colín Olivares, O., Vázquez Sosa, A., Dzul Pech, R., Isla García, R., et al. (2018). Perfil de resiliencia urbana de la isla de Cozumel, México. In: Antrópica Revista de ciencias sociales y humanidades (Ed.), *Gestión de información sobre riesgos ante desastres hidrometeorológicos en México. Dossier 1*. (Vol. 4). <https://antropica.com.mx/ojs2/index.php/AntropicaRCSH/article/view/113/113>
- Hafsi, A., Aguilar-Becerra, C. D., & Martínez, O. F. (2020). *Sistemas de alerta temprana basado en la comunidad ante fenómenos hidrometeorológicos en localidades situadas en barras de litoral costera*. <https://www.researchgate.net/publication/346108471>
- Hafsi, A., Aguilar-Becerra, C. D., Frausto-Martínez, O., & Rivas-Tapia, A. S. (2023). Assessment of Socioeconomic Resilience to Pandemic Disasters in Island Tourist Destinations. *Sustainability*, 15(14), 11246.
- Livet, P. (2009). Cumulativités et dynamiques des sciences sociales. In É. d. l. É. d. h. é. e. s. sociales. (Ed.), *La cumulatvité du savoir en sciences sociales*. <https://doi.org/10.4000/books.editionsehess.20547>
- OCHA, & UNDRR. (2023). *Panorama de los Desastres en América Latina y el Caribe 2000 - 2022*. <https://reliefweb.int/report/world/panorama-de-los-desastres-en-america-latina-y-el-caribe-2000-2022>
- Ortega-Gaucin, D. (2023). Riesgos climáticos y medioambientales: los mayores desafíos globales para la próxima década. *El Acueducto, Gaceta del IMTA, 5ª Época*, 13:14-15.
- PNUD. (2022). *Comunidades Resilientes: la construcción de la prevención y la resiliencia desde lo local*. Retrieved 09/11/2023 from: <https://www.undp.org/es/mexico/noticias/comunidades-resilientes-la-construccion-de-la-prevencion-y-la-resiliencia-desde-lo-local>
- Quenault, B. (2015). De Hyōgo à Sendai, la résilience comme impératif d'adaptation aux risques de catastrophe: nouvelle valeur universelle ou gouvernement par la catastrophe? *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, 6(3), hal-01645012.
- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2022). *Natural Disasters*. <https://ourworldindata.org/natural-disasters>
- Santos-Reyes, J. (2019). How useful are earthquake early warnings? The case of the 2017 earthquakes in Mexico city. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 40, 101148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101148>
- Santos-Reyes, J., & Gouzeva, T. (2020). Mexico city's residents emotional and behavioural reactions to the 19 September 2017 earthquake. *Environmental Research*, 186, 109482. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109482>
- Soares, D., & Valdés-Rodríguez, O. A. (2022). Reducción de la vulnerabilidad y fortalecimiento de capacidades. Estrategias para enfrentar riesgos de desastres por huracanes en la costa de Yucatán. In: U. A. d. Querétaro (Ed.), *Vulnerabilidad, resiliencia y riesgos emergentes en época de pandemia*. (pp. 10).
- Solís, V. V. (2023). Impacto espacial de las inundaciones súbitas en la resiliencia turística de Matehuala, San Luis Potosí, México. *Cuadernos de Turismo* (51), 163-187.
- Tena-Colunga, A. (2021). Conditions of structural irregularity. Relationships with observed earthquake damage in Mexico City in 2017. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 143, 106630. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106630>
- Texier, P. (2009). *Vulnerability and Disaster Risk Reduction face to Hydrological and Health Hazards in Informal Districts of Jakarta, Indonesia* *Vulnérabilité et réduction des risques liés à l'eau dans les quartiers informels de Jakarta, Indonésie. Réponses sociales, institutionnelles et non institutionnelles*. Université Paris-Diderot - Paris VII. <https://theses.hal.science/tel-00441988>
- Travieso Bello, A. C., Martínez, O. F., Hernández Aguilar, M. L., & Morales Hernández, J. C. (2023). Comprehensive risk management of hydrometeorological disaster: A participatory approach in the metropolitan area of Puerto Vallarta, Mexico. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 87, 103578. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103578>
- UNDRR. (2015). *Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (2015-2030)* (Sendai, Japon: Assemblée générale des Nations Unies, Issue. https://www.unisdr.org/files/43291_frenchsendaiframeworkfordisasterris.pdf
- UNDRR. (2022a). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. Informe Voluntario de Medio Término. <https://sendaiframework-mtr.undrr.org/publication/mexico-voluntary-national-report-mtr-sf>
- UNDRR. (2022b). *Sector privado se organiza para fortalecer su resiliencia: ARISE México y UNDRR crean de grupos de trabajo*. Retrieved 09/11/2023 from: <https://www.undrr.org/es/news/sector-privado-se-organiza-para-fortalecer-su-resiliencia-arise-mexico-y-undrr-crean-de-grupos>
- UNDRR. (2022c). *UN warns that half the world is not prepared for disasters*. <https://iddrr.undrr.org/media/84067/download?startDownload=true>
- Unies, N. (2023). *Mise en œuvre du Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (2015-2030) - Rapport du Secrétaire général (A/78/267)*. <https://reliefweb.int/report/world/mise-en-oeuvre-du-cadre-de-sendai-pour-la-reduction-des-risques-de-catastrophe-2015-2030-rapport-du-secretaire-general-a78267>
- Zorn, M. (2018). *Natural Disasters and Less Developed Countries*. In: Pelc, S., Koderman, M. (eds). *Nature, Tourism and Ethnicity as Drivers of (De)Marginalization. Perspectives on Geographical Marginality*, vol 3. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59002-8_4

Indicadores para la evaluación de infraestructura verde urbana con enfoque de gestión de riesgos hidrometeorológicos en Puerto Vallarta, Jalisco

Indicators for the evaluation of urban green infrastructure with a focus on hydrometeorological risk management in Puerto Vallarta, Jalisco

Alejandra Sarhai Rivas Tapia^{1*}
Adel Hafs²
Gladis Antonieta González Rodríguez¹
Julio César Morales Hernández¹
Bartolo Cruz Romero¹

¹Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara, Puerto Vallarta, Jalisco, México

²Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, Campus Cozumel. Quintana Roo, México

*Autora de correspondencia: alejandra.rtapia@alumnos.udg.mx

Editor encargado: Dr. Oscar Frausto Martínez

Editora invitada: Dra. Ana Cecilia Travieso Bello

Recibido: 19 de agosto de 2024 - Aceptado: 30 de septiembre de 2024

Resumen

El impacto de eventos hidrometeorológicos de gran magnitud y su relación con una urbanización acelerada ha afectado en varias ocasiones al municipio de Puerto Vallarta, uno de los destinos turísticos costeros más importantes del país. La evaluación de la infraestructura verde urbana en Puerto Vallarta, Jalisco, se centra en la administración de estos peligros. El propósito principal del estudio es crear una matriz de indicadores con el fin de evaluar la efectividad de la infraestructura verde en la reducción de los peligros hidrometeorológicos. Se identificaron amenazas hidrometeorológicas mediante el uso de sistemas de información geográfica y el análisis de registros históricos. Para evaluar los beneficios de esta infraestructura en la administración de dichos peligros, se llevó a cabo un inventario de la infraestructura verde pública de la ciudad. Se utilizaron indicadores basados en investigaciones anteriores. Se identificaron ocho riesgos asociados a amenazas hidrometeorológicas con mayor impacto en la región. Se destacaron cinco tipos de infraestructura verde urbana y se determinaron 12 indicadores para evaluar su eficacia en la administración de riesgos hidrometeorológicos a partir de su caracterización. Por último, la resiliencia de Puerto Vallarta ante estos fenómenos depende de la infraestructura verde urbana. La falta de financiamiento y la disponibilidad de espacio, sin embargo, constituyen desafíos importantes para la implementación.

Palabras clave: Territorio, Resiliencia, Sostenibilidad, Urbanismo, Plusvalía

Abstract

Since The impact of large-scale hydrometeorological events and their relationship with accelerated urbanization has affected the municipality of Puerto Vallarta, one of the country's most important coastal tourist destinations, on several occasions. The evaluation of the urban green infrastructure in Puerto Vallarta, Jalisco, focuses on managing these hazards. The study's main purpose is to create a matrix of indicators to evaluate the effectiveness of green infrastructure in reducing hydrometeorological hazards. Hydrometeorological hazards were identified through geographic information systems and analysis of historical records. An inventory of the city's public green infrastructure was conducted to assess the benefits of

this infrastructure in managing such hazards. Indicators based on previous research were used. Eight risks associated with hydrometeorological hazards with the greatest impact in the region were identified. Five types of urban green infrastructure were highlighted, and 12 indicators were determined to assess their effectiveness in managing hydrometeorological risks based on their characterization. Finally, Puerto Vallarta's resilience to these phenomena depends on urban green infrastructure. However, lack of funding and availability of space are major challenges to implementation.

Keywords: Territory, Resilience, Sustainability, Urbanism, Capital Gain

Introducción

El cambio climático y la rápida urbanización han exacerbado los riesgos hidrometeorológicos en las ciudades costeras de México; Puerto Vallarta, Jalisco, es un caso particularmente relevante debido a su ubicación geográfica y su importancia como destino turístico (Huizar Sánchez et al., 2020; Gobierno de Puerto Vallarta & Universidad de Guadalajara, 2018; Travieso Bello et al., 2023). En las últimas décadas, esta ciudad ha experimentado un crecimiento demográfico y urbano acelerado, lo que ha resultado en una mayor exposición a amenazas de origen hidrometeorológico, como inundaciones, deslizamientos de tierra y ciclones tropicales (Orozco Alvarado & Olivares Álvarez, 2016). La infraestructura tradicional presente en la región, incluyendo sistemas de drenaje y protección costera, ha demostrado ser insuficiente para responder de manera adecuada ante los impactos de eventos extremos (Baños et al., 2020; Travieso Bello et al., 2023). Esta situación se magnifica por la pérdida de espacios con cobertura vegetal y el cambio de uso de suelo por la urbanización no planificada, lo que ha generado reducción de la capacidad natural para absorber y gestionar el agua de lluvia, causando inundaciones (UNEP-DHI, 2014).

En este sentido, la infraestructura verde, que incluye soluciones basadas en la naturaleza, como parques urbanos, corredores verdes, jardines de lluvia y zonas de manglares restauradas, ofrece una estrategia prometedora para abordar estos desafíos (Castro Lancharro, 2021; Quiroz Benítez, 2018). Sin embargo, la integración efectiva de esta infraestructura en el entorno urbano de Puerto Vallarta presenta múltiples desafíos técnicos, sociales y económicos ya que se observan barreras relacionadas con la planificación urbana, la disponibilidad de espacio, la financiación de proyectos, y la falta de concienciación y apoyo público (Baños Francia, 2018; Cárdenas Gómez, 2017). Además, una adecuada evaluación para la integración de infraestructura verde puede reducir significativamente los riesgos asociados a eventos hidrometeorológicos y mejorar la calidad de vida de los residentes de Puerto Vallarta, proporcionar beneficios ambientales adicionales, como la mejora de la biodiversidad y la calidad del aire, y promover el desarrollo sostenible de

la ciudad (Lopez et al., 2019; Montes Espín et al., 2022). Así pues, este enfoque podría servir como modelo para otras ciudades costeras en regiones similares que enfrentan desafíos comparables.

Finalmente, siguiendo las premisas anteriores, el objetivo de este estudio fue desarrollar una matriz de indicadores de evaluación de la eficacia de infraestructura verde urbana para mitigar riesgos asociados a amenazas hidrometeorológicas.

Metodología

Identificación de amenazas hidrometeorológicas y evaluación de riesgos en la zona urbana de Puerto Vallarta

Para identificar las amenazas hidrometeorológicas que afectan la zona urbana de Puerto Vallarta, se realizó un análisis de registros históricos a través de las plataformas de INEGI y CENAPRED, para determinar los eventos más recurrentes y de mayor impacto. Adicionalmente, se empleó el sistema de información geográfica ArcGIS para representar el grado de riesgo ante amenazas hidrometeorológicas a nivel municipal para Jalisco.

Listado y caracterización de la infraestructura verde pública

A partir de los reportes en materia de infraestructura verde urbana de Castro Lancharro (2021) y de Quiroz Benítez (2018), se identificaron los tipos que se ubican dentro de la zona urbana de Puerto Vallarta, Jalisco. Con lo anterior, se seleccionaron aquellos de carácter público para delimitar bajo premisas de gestión del territorio de la administración municipal.

En cada tipo de infraestructura seleccionado, se identificaron las características físicas y ecosistémicas óptimas para mitigar los riesgos de las amenazas hidrometeorológicas.

Selección de indicadores para evaluar beneficios de la infraestructura verde urbana de Puerto Vallarta ante amenazas hidrometeorológicas

Con el objetivo de evaluar los beneficios que los diversos tipos de infraestructura verde identificada puede proporcionar

en el contexto de gestión de riesgos hidrometeorológicos, se seleccionaron indicadores provenientes de diversas investigaciones (Castro Lancharro, 2021; Lara et al., 2021; Montes Espín et al., 2022; Quiroz Benítez, 2018; Sandoval et al., 2023; SINAPROC & UNDRR, 2022; UNEP-DHI, 2014). Se priorizó la elección de indicadores que permitan una evaluación cuantitativa y cualitativa del desempeño de la infraestructura ante las amenazas identificadas.

Posteriormente, se construyó una matriz de evaluación en la que se asociaron los indicadores seleccionados con los diferentes riesgos hidrometeorológicos. Esta matriz permitió una especialización de los datos, con la finalidad de facilitar la identificación de las fortalezas y limitaciones de cada tipo de infraestructura verde, así como su potencial integración en estrategias de mitigación de riesgos específicos.

Resultados

El estudio se condujo en el municipio de Puerto Vallarta, Jalisco localizado en la costa norte de Jalisco y al oeste del Océano Pacífico. Según el Censo de Población y Vivienda 2020, Puerto Vallarta cuenta con aproximadamente 300 000 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2021). Predomina una población joven y adulta, con un aumento en la población de adultos mayores debido a la llegada de jubilados de diferentes nacionalidades (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2021; Secretaría de Desarrollo Agrario, 2020). En la región, predominan los bosques tropicales secos y húmedos, con una rica biodiversidad que incluye especies como palmeras y árboles frutales (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2018). No obstante, aunque existen áreas designadas para la conservación que albergan flora nativa y fauna silvestre, en las zonas urbanas la vegetación ha sido transformada debido al desarrollo humano (de los Ángeles Huízar Sánchez et al., 2020; Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2021).

Amenazas de origen hidrometeorológico en la zona urbana de Puerto Vallarta

Se identificaron ocho riesgos de mayor incidencia derivados de los efectos de las amenazas hidrometeorológicas que impactan en la zona de estudio de acuerdo con los registros de CENAPRED. Los riesgos se dividieron en dos categorías: a) ciclones tropicales e inundaciones y b) olas de calor y sequías (Tabla 1).

Posteriormente, de acuerdo con los reportes del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), (2021), y del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), (2023), se identificó que Puerto Vallarta enfrenta un nivel de riesgo medio, derivado en gran parte de su ubicación geográfica (Figura 1).

Tabla 1. Riesgos asociados a amenazas hidrometeorológicas en la zona urbana de Puerto Vallarta, Jalisco

Categoría	Efectos principales	Riesgos
<i>Ciclones tropicales e inundaciones</i>	Precipitaciones torrenciales	Inundaciones Deslizamiento de laderas
	Ráfagas intensas de viento	Caída de vegetación e infraestructura
	Oleaje y marejadas	Inundaciones Daño a infraestructura costera
<i>Olas de calor y sequías</i>	Calor extremo	Daños a los sistemas biológicos
	Escasez de agua	Pérdida de cobertura vegetal Incendios urbanos

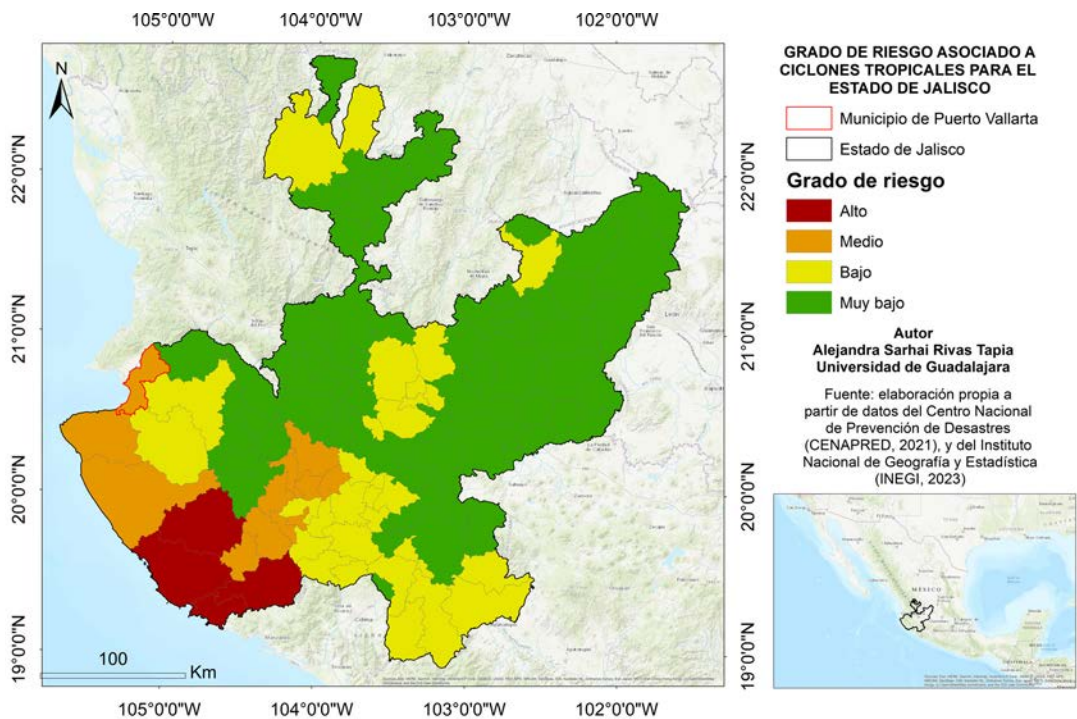
Fuente: Méndez Estrada et al., 2021

Infraestructura verde urbana en la mitigación de riesgos hidrometeorológicos

Una vez que los riesgos identificados fueron divididos en las dos categorías mencionadas anteriormente, se enlistaron los principales riesgos que impactan el municipio, identificando cinco tipos de infraestructura verde de carácter público presentes en la zona urbana de Puerto Vallarta: a) jardines de lluvia; b) pavimentos (calles y avenidas) permeables; c) cinturones, corredores y barreras vegetales; d) áreas de conservación natural; y e) parques urbanos y áreas verdes. La selección de infraestructura capaz de mitigar impactos de los riesgos identificados se realizó de acuerdo con las características físicas de cada una, los servicios ecosistémicos que provee y por los efectos posibles vinculados a los riesgos de la categoría de ciclones tropicales e inundaciones (Figura 2) o de los riesgos pertenecientes a la categoría de olas de calor y sequías (Figura 3) con la finalidad de justificar su función dentro de la mitigación de sus efectos adversos.

En el caso de los riesgos asociados a precipitaciones, ráfagas intensas de vientos y oleaje o marejadas ciclónicas, se identificaron cuatro tipos de infraestructura que puede proveer servicios ecosistémicos para la mitigación de su impacto. Se observó que los pavimentos (calles y avenidas) permeables y los jardines de lluvia aportan beneficios para prevenir y disminuir el riesgo de inundaciones en la zona urbana. Los cinturones, corredores y barreras vegetales se ubicaron en la mitigación de riesgo de deslizamientos y para disminuir los efectos de las ráfagas de viento, permitiendo así una mayor protección a los sistemas biológicos y a la infraestructura urbana de la zona. Finalmente, se eligieron las áreas de conservación natural como la infraestructura adecuada para la reducción del impacto de olas y marejadas ciclónicas frente a la infraestructura costera.

Figura 1. Grado de riesgo por eventos hidrometeorológicos para el estado de Jalisco



Fuente: datos del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 2021, y del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), 2023

Figura 2. Infraestructura verde para la mitigación de riesgos de la categoría de ciclones tropicales e inundaciones

RIESGOS	Precipitaciones		Ráfagas intensas de vientos	Oleaje y marejadas ciclónicas
EFECTOS	La saturación de agua en el suelo puede provocar inundaciones	La saturación de agua en el suelo puede provocar deslizamientos de tierra, especialmente en zonas montañosas o con pendientes pronunciadas	Los ciclones pueden traer vientos destructivos que dañan la infraestructura urbana	Puede causar inundaciones costeras y daños en las infraestructuras cercanas a la playa
I V U	Pavimentos permeables; jardines de lluvia	Cinturones, corredores y barreras vegetales	Cinturones, corredores y barreras vegetales	Áreas de conservación natural
DESCRIPCIÓN	Superficies porosas que permiten la infiltración de agua y áreas con vegetación especialmente diseñada para capturar y filtrar agua de lluvia	Creación de terrazas con vegetación en laderas para reducir la velocidad del agua de lluvia y prevenir deslizamientos	Plantación de setos densos o filas de árboles que actúan como barreras naturales contra el viento	Zonas de conservación vegetal para permitir la creación de barreras y amortiguadores naturales ante marejadas
BENEFICIOS	Reducción de escorrentías, recarga de acuíferos, y reducción de inundaciones	Prevención de deslizamientos de tierra, mejora de la infiltración del agua de lluvia para evitar estancamientos y sobrecargar el tejido edáfico	Protección contra ráfagas de viento	Reducción del impacto de olas de gran tamaño y estabilización del nivel del mar durante eventos ciclónicos para evitar la erosión de playas e inundaciones

Figura 3. Infraestructura verde para la mitigación de riesgos de la categoría de olas de calor e incendios

RIESGOS	Calor extremo		Escasez de agua	Incendios urbanos	Pérdida de vegetación
EFFECTOS	Pueden provocar golpes de calor, deshidratación y exacerbar enfermedades crónicas, especialmente entre poblaciones vulnerables	El calor extremo puede dañar la infraestructura, como deformar el pavimento de las carreteras o afectar el funcionamiento de los sistemas de transporte público	Las sequías llevan a disminución de las reservas de agua potable y restricciones en el suministro de agua	Las altas temperaturas pueden aumentar el riesgo de incendios, especialmente en áreas con vegetación seca	La sequía puede causar la muerte de árboles, jardines y parques, afectando la calidad de vida de los habitantes
IVU	Parques urbanos y áreas verdes	Pavimentos permeables	Jardines de lluvia	Parques urbanos y áreas verdes	Parques urbanos y áreas verdes
DESCRIPCIÓN	Espacios de recreación con vegetación diversa	Superficies porosas que permiten la expansión y ventilación para evitar agrietamientos por temperaturas altas	Recarga de acuíferos	Espacios de recreación con vegetación diversa	Espacios de recreación con vegetación nativa para aprovechar su adaptación a las condiciones ambientales del territorio
BENEFICIOS	Zonas con alta cobertura vegetal disminuyen la temperatura y la sensación térmica	Reducción de escorrentías, recarga de acuíferos, y reducción de inundaciones	Áreas con vegetación especialmente diseñada para capturar y filtrar agua de lluvia	Zonas con alta cobertura vegetal disminuyen la temperatura y la sensación térmica	Zonas con alta cobertura vegetal disminuyen la temperatura y la sensación térmica

En el caso de los riesgos por calor extremo, escasez de agua, incendios urbanos y pérdida de vegetación, se identificaron tres tipos de infraestructura verde que podrían permitir la mitigación de los efectos adversos de estas amenazas. Para el caso de eventos de calor extremo, incendios urbanos y pérdida de vegetación se ha propuesto la integración o rehabilitación de parques urbanos y áreas verdes, en conjunto con la implementación de más espacios con pavimentos permeables por sus beneficios en la captación de agua y a su vez la disminución de temperatura de la superficie urbana. De la misma manera, la diversificación de especies vegetales nativas en estos parques podría asegurar una mejor resistencia y adaptación al cambio climático asegurando su éxito de propagación a comparación de especies introducidas y poco adaptadas. Asegurar una mayor captación de humedad en la superficie a través de cobertura vegetal, promueve la prevención de incendios urbanos. Finalmente, en el caso de eventos de escasez de agua y sequía, se recomienda la habilitación de jardines de lluvia con depósitos de captación de agua para la alimentación de insumos hídricos durante temporadas de estiaje.

Indicadores para la evaluación de infraestructura verde urbana en materia de gestión de riesgos hidrometeorológicos

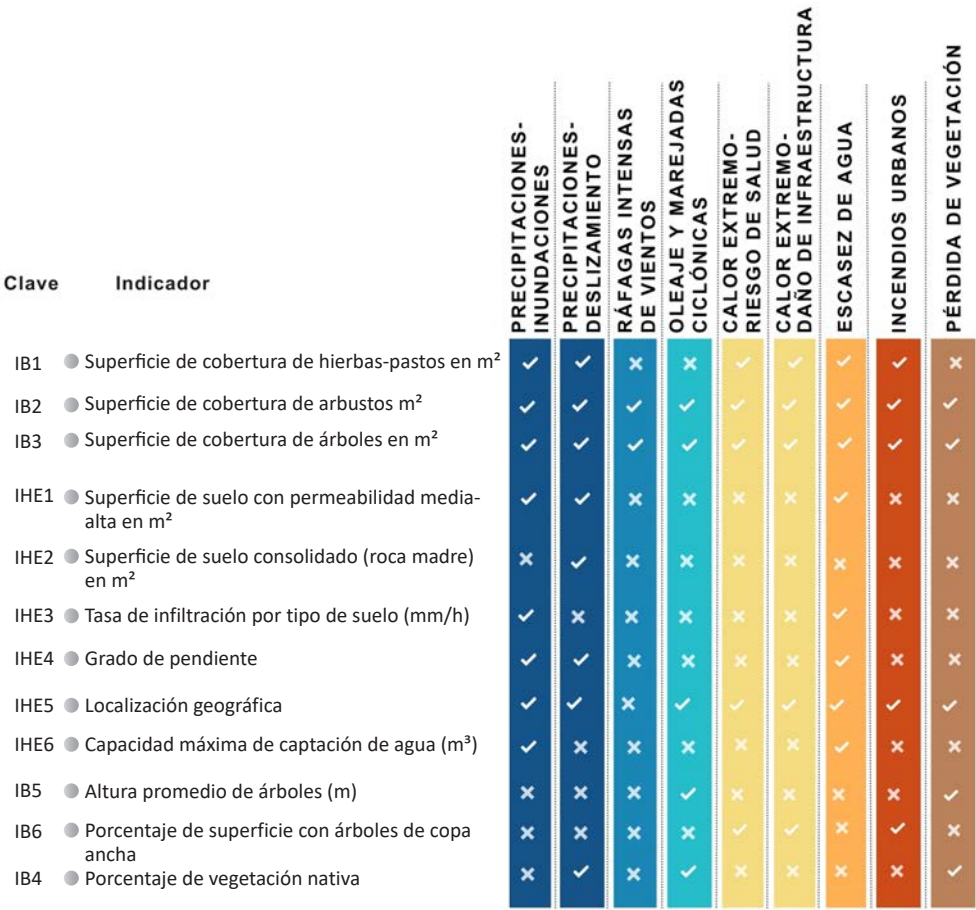
Se seleccionaron 12 indicadores de los documentos analizados, los cuales reúnen las características necesarias para evaluar la eficacia de mitigación de riesgos hidrometeorológicos de los cinco tipos de infraestructura verde urbana identificada para Puerto Vallarta. Se dividieron dos en dimensiones, con seis indicadores cada una, de acuerdo con la característica o el servicio ecosistémico que evalúan (Tabla 2). Para cada indicador, se destacó la importancia dentro de la evaluación de cada infraestructura, abordando los impactos de los efectos de las dos categorías mencionadas con anterioridad. Es posible observar que abordan problemas como la tasa de infiltración de agua al subsuelo para evitar acumulación de agua que posteriormente podría desencadenar problemas de inundación, o la cantidad de cobertura vegetal para manejar problemas de calor, vientos o marejadas. Es en este sentido que cada indicador se encuentra directamente relacionado con dar solución a un riesgo mediante la infraestructura detallada (Figura 4).

Con lo anterior, se destaca que los indicadores propuestos no solo permitirán cuantificar y calificar la capacidad actual de la infraestructura verde urbana para mitigar los riesgos hidrometeorológicos, sino que también podrán destacar áreas de oportunidad para mejorar su

Tabla 2. Indicadores para la evaluación de infraestructura verde urbana en la zona de Puerto Vallarta

Dimensión	Indicador	Clave	Importancia
Biológica	Superficie de cobertura de hierbas-pastos en m ²	IB1	A mayor superficie de cobertura de hierbas mejor captación e infiltración de agua para evitar acumulación en la superficie Favorece la retención de humedad superficial Disminuye la temperatura de la superficie Mejora la estabilidad y firmeza del terreno
	Superficie de cobertura de arbustos m ²	IB2	Captación de agua para reducir las inundaciones Mejora la estabilidad y firmeza del terreno Reduce la velocidad de los vientos Disminuye la velocidad y altura de olas
	Superficie de cobertura de árboles en m ²	IB3	Captación de agua para reducir las inundaciones Mejora la estabilidad y firmeza del terreno Reduce la velocidad de los vientos Disminuye la velocidad y altura de olas Disminuye la sensación térmica como resultado de su sombra Permite el intercambio térmico del viento
	Porcentaje de vegetación nativa	IB4	A mayor cantidad de vegetación nativa, aseguran un mayor éxito de supervivencia por sus características biológicas adaptadas a las condiciones ambientales del lugar
	Altura promedio de árboles (m)	IB5	Árboles de mediano o gran tamaño permiten formar una barrera ante vientos intensos. Árboles de gran tamaño proveen una sombra más amplia, por lo que permiten disminuir la sensación térmica
Hídrico - edafológica	Porcentaje de superficie con árboles de copa ancha	IB6	Árboles de copa ancha proveen una sombra más amplia, por lo que permiten disminuir la sensación térmica
	Superficie de suelo con permeabilidad media-alta en m ²	IHE1	Mayor cantidad de agua infiltrada al subsuelo, menor probabilidad de acumulación en la superficie Mayor infiltración de agua ocasiona mayor probabilidad de deslizamientos de tierra
	Superficie de suelo consolidado (roca madre) en m ²	IHE2	Una presencia alta de roca madre dentro del área asegura una firmeza del terreno
	Tasa de infiltración por tipo de suelo (mm/h)	IHE3	El tipo de suelo incide directamente en la capacidad de absorción de la infraestructura
	Grado de pendiente	IHE4	Un grado de pendiente alto aumenta las escorrentías y reduce la eficacia de la captación del sitio Un grado de pendiente alto del terreno aumenta el riesgo de deslizamiento
	Localización geográfica	IHE5	La ubicación estratégica de un área verde (en depresiones, cuencas, etc.) es crucial para maximizar la captación de agua Permite entender el contexto del sitio, corredores, flujos de vientos y edificios cercanos
	Capacidad máxima de captación de agua (m ³)	IHE6	Permite identificar si una zona puede ser propensa a inundaciones A mayor captación, mejor abastecimiento de sistemas hídricos

Figura 4. Vinculación de indicadores con los riesgos para evaluación de infraestructura verde urbana



eficacia. La implementación estratégica y la ampliación de las infraestructuras verdes, basadas en estos indicadores, podrían fortalecer significativamente la resiliencia de Puerto Vallarta frente a los ciclones tropicales e inundaciones, que son las amenazas de mayor impacto en la región.

Discusión y conclusión

A través de la identificación de los principales riesgos asociados a este tipo de eventos, destacando las inundaciones, deslizamientos de tierra y olas de calor, así como su vinculación con tipos específicos de infraestructura verde, se ha logrado evidenciar que la integración estratégica de estas soluciones basadas en la naturaleza puede mejorar considerablemente la resiliencia de las zonas urbanas con características territoriales similares a este municipio. Sin embargo, la implementación de infraestructura verde en Puerto Vallarta enfrenta desafíos significativos debido a diversos factores administrativos, espaciales y ambientales

(Huizar Sánchez et al., 2020). La disponibilidad limitada de espacio en áreas urbanas densamente pobladas y la falta de financiamiento para proyectos de este tipo son obstáculos críticos que requieren ser abordados mediante políticas públicas y una mayor concienciación ciudadana (Ivčević et al., 2019; Marchese et al., 2018). Además, la variabilidad climática y el cambio en los patrones meteorológicos plantean preguntas sobre la capacidad a largo plazo de estas infraestructuras para seguir siendo eficaces bajo escenarios futuros de cambio climático (Filimonau & De Coteau, 2020; Keesstra et al., 2018).

En términos de evaluación, los 12 indicadores seleccionados proporcionan una base sólida para medir la eficacia de las infraestructuras verdes en la gestión de riesgos hidrometeorológicos. Su inclusión fue limitada únicamente a su aportación para analizar la eficacia de mitigación de riesgos de cinco tipos de infraestructura considerando las condiciones actuales. No obstante, se reconoce que es necesario continuar afinando estos indicadores y adaptarlos a las condiciones ambientales evolutivas, considerando que

las particularidades ecológicas y sociales de Puerto Vallarta se mantienen en un constante dinamismo de cambio.

En este sentido, la matriz de indicadores desarrollada en esta investigación ofrece una herramienta valiosa para la planificación y evaluación de estas infraestructuras, permitiendo a los tomadores de decisiones identificar áreas prioritarias para intervención y mejoras. Finalmente, se enfatiza la importancia de incluir mayor aportación de estudios longitudinales para permitir monitoreo más preciso basado en las necesidades actuales del territorio y promover una integración más sostenible en los planes de desarrollo urbano para el municipio.

Referencias

- Baños Francia, J. A. (2018). Territorio, turismo y transformaciones urbanas. Apuntes para una gestión alternativa en Puerto Vallarta, México. *TOPOFILIA, Revista Científica de Arquitectura, Urbanismo y Territorios*, 147–163. <https://doi.org/http://69.164.202.149/topofilia/index.php/topofilia/article/view/20>
- Baños, J. A. F., Huízar, M. de los Á., & López, J. L. (2020). Políticas de gestión turística, transformación urbana y patrimonio en Puerto Vallarta, México. *PatryTer*, 3(6), 51–65. <https://doi.org/10.26512/patryter.v3i6.26958>
- Cárdenas Gómez, E. P. (2017). Las políticas turísticas en México y su aplicación en la Zona Metropolitana de Puerto Vallarta. In: E. C. de J. Universidad de Guadalajara, Instituto de Investigación en Políticas Públicas y Gobierno (Ed.), *Políticas Públicas y Territorio* (pp. 123–152).
- Castro Lancharro, B. (2021). *Infraestructura Verde Urbana II: Implementación y seguimiento de soluciones* | Publicaciones. <https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Infraestructura-Verde-Urbana-II-Implementacion-y-seguimiento-de-soluciones.pdf>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2021). *Sistema de Consulta de Declaratorias 2000-2021*. Atlas Nacional de Riesgos. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/apps/Declaratorias/>
- de los Ángeles Huízar Sánchez, M., Ramos, J. L. L., & Francia, J. A. B. (2020). The modernization of Puerto Vallarta. Urban renewal or assisted touristification? *PASOS Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 18(5), 831–842. <https://doi.org/10.25145/J.PASOS.2020.18.059>
- Filimonau, V., & De Coteau, D. (2020). Tourism resilience in the context of integrated destination and disaster management (DM2). *International Journal of Tourism Research*, 22(2), 202–222. <https://doi.org/10.1002/jtr.2329>
- Gobierno de Puerto Vallarta, & Universidad de Guadalajara. (2018). *Atlas de Riesgos por Amenazas Naturales en el Municipio de Puerto Vallarta, Jalisco*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2021). *Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). (2023). *Marco Geoestadístico Nacional*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=794551067437>
- Ivčević, A., Mazurek, H., Siame, L., Ben Moussa, A., & Bellier, O. (2019). Indicators in risk management: Are they a user-friendly interface between natural hazards and societal responses? Challenges and opportunities after UN Sendai conference in 2015. In: *International Journal of Disaster Risk Reduction* (Vol. 41). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101301>
- Keesstra, S., Nunes, J., Novara, A., Finger, D., Avelar, D., Kalantari, Z., et al. (2018). The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 610, 997–1009. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.077>
- Lara, A., Bucci, F., Palma, C., Munizaga, J., & Montre-Águila, V. (2021). Development, urban planning and political decisions. A triad that built territories at risk. *Natural Hazards*, 109(2), 1935–1957. <https://doi.org/10.1007/S11069-021-04904-5>
- Lopez, M., Roca, S., & López, H. (2019). Infraestructura verde como estrategia de planificación de sistemas urbanos resilientes. Revisión bibliográfica. *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes* 9(1):73-76.
- Marchese, D., Reynolds, E., Bates, M. E., Morgan, H., Clark, S. S., & Linkov, I. (2018). Resilience and sustainability: Similarities and differences in environmental management applications. In: *Science of the Total Environment* (Vols. 613–614, pp. 1275–1283). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.086>
- Méndez Estrada, K. M., Franco Vargas, E., Olmedo Santiago, C., García Vega, A., & Nolasco Mata, J. (2021). *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México*. Centro Nacional de Prevención de Desastres. *Coordinación de Políticas Públicas para la Prevención de Desastres. Subdirección de Estudios Económicos y Sociales 2021. Resumen ejecutivo*. <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/487-RESUMENEJECUTIVOIMPACTO2021.PDF>
- Montes Espín, R., Vasallo Rodríguez, L., Montes Espín, R., & Vasallo Rodríguez, L. (2022). Infraestructura verde urbana: herramienta de gestión para ciudades patrimoniales. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(3), 745–750. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000300745&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Orozco Alvarado, J., & Olivares Álvarez, G. del C. (2016). Desarrollo turístico e implicaciones medioambientales en Puerto Vallarta. *Mercados y Negocios*, 17, 27–44. <https://doi.org/10.32870/MYN.V01I7.5084>
- Quiroz Benítez, D. E. (2018). *Implementación de Infraestructura Verde como estrategia para la mitigación y adaptación al*

- cambio climático en ciudades mexicanas, hoja de ruta. www.giz.de/mexico-mx
- Sandoval, V., Voss, M., Flörchinger, V., Lorenz, S., & Jafari, P. (2023). Integrated Disaster Risk Management (IDRM): Elements to Advance Its Study and Assessment. *International Journal of Disaster Risk Science*, 14(3), 343–356. <https://doi.org/10.1007/S13753-023-00490-1>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, T. y U. [SEDATU]. (2020). *Estadísticas demográficas sobre municipios turísticos*.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2018). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/pdf/Informe2018GMX_web.pdf
- SINAPROC, & UNDRR. (2022). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030: Informe Voluntario de Medio Término*. <https://sendaiframework-mtr.undrr.org/media/84406/download?startDownload=true>
- Travieso Bello, A. C., Martínez, O. F., Hernández Aguilar, M. L., & Morales Hernández, J. C. (2023). Comprehensive risk management of hydrometeorological disaster: A participatory approach in the metropolitan area of Puerto Vallarta, Mexico. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 87, 103578. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2023.103578>
- UNEP-DHI. (2014). *Infraestructuras verdes: Guía para la gestión del agua*. www.unep.org



Influencia de las oscilaciones climáticas AMO, PDO y ENSO en los patrones de precipitación en México: caso Sureste

Influence of AMO, PDO and ENSO Climate Oscillations on Precipitation Patterns in Mexico: Southeast case

Mercedes Andrade Velázquez^{1*}

Martín José Montero Martínez²

¹Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías-Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, México

²Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México

*Autora de correspondencia: mercedes.andrade@ccgs.mx

Editor encargado: Dr. Oscar Frausto Martínez

Editora invitada: Ana Cecilia Travieso Bello

Recibido: 15 de agosto de 2024 - Aceptado: 02 de octubre de 2024

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la influencia de las oscilaciones climáticas: oscilación multidecadal del Atlántico (AMO, por sus siglas en inglés), oscilación decadal del Pacífico (PDO) y el Niño – oscilación del Sur (ENSO) en los patrones de precipitación en el sureste de México. Es bien sabido que el ENSO presenta una correlación inversa de la precipitación en esta región, aunque la alta dispersión de los eventos resulta en una señal débil de esta relación. Esta influencia se ve combinada con la fase de la PDO, fenómeno observado también en otras regiones de América, como Bolivia. No obstante, se ha resaltado la importancia de incluir la AMO en otros estudios. Para este trabajo, se utiliza el índice de precipitación estandarizado a 12 meses de la zona de estudio y su correlación con las oscilaciones climáticas. Los resultados de trabajos anteriores indican una influencia con las fases de ENSO en combinación con las otras oscilaciones en los eventos secos y húmedos de la región. Estos resultados aportan al conocimiento local del clima de la región y una metodología que se puede extrapolar a otras regiones.

Palabras clave: Climatología, Precipitación, Teleconexiones, Sureste de México, Sequía

Abstract

The objective of this work is to determine the influence of climate oscillations: Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO, for its acronym in English), Pacific Decadal Oscillation (PDO), and El Niño – Southern Oscillation (ENSO) in precipitation patterns in Southeastern Mexico. It is well known that ENSO presents an inverse correlation of precipitation in this region, although the high dispersion of the events results in a weak signal of this relationship. This influence is combined with the PDO phase, a phenomenon also observed in other regions of America, such as Bolivia. However, the importance of including AMO in other studies has been highlighted. This work uses the standardized 12-month precipitation index of the study area and its correlation with climatic oscillations. The results of previous work indicate an influence of the ENSO phases in combination with the other oscillations on the dry and wet events of the region. These results contribute to local knowledge of the region's climate and a methodology that can be extrapolated to other areas.

Keywords: Climatology, Precipitation, Teleconnections, Southeast of Mexico, Drought

Introducción

El presente trabajo se enfoca al estudio de los patrones de la precipitación en la región sureste de México, del período de tiempo 1971-2021. Estos patrones se determinan mediante el índice estandarizado de precipitación (SPI, por sus siglas en inglés,) para posteriormente correlacionar con los índices climáticos de las teleconexiones: Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, siglas en inglés), Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO siglas en inglés) y El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, siglas en inglés;). El objetivo es determinar el grado de influencia de estas teleconexiones en la precipitación de la zona de estudio, de tal manera que se provea de información climática actualizada para uso de la población en general.

Las sequías en México han sido una constante a lo largo de la historia. Domínguez (2016) documenta la presencia de sequías desde la época prehispánica. Mismo autor también reporta las más importantes, que corresponden a los años 1960, 1962, 1969, 1977, 2009, 2011, 2012. En los últimos años se han presentado sequías importantes a nivel nacional, lo que ha llevado a los tomadores de decisiones a buscar información climática actualizada para poder afrontar los efectos de este fenómeno. Magaña et al. (1998) reportaron que la influencia de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) en los patrones de precipitación en México ocurren de la siguiente manera: durante la fase El Niño, se observa una disminución en la precipitación, mientras que durante la fase La Niña, se registra un aumento. Es decir, se tienen años secos y húmedos respectivamente. No obstante, Méndez y Magaña (2010) reportaron que la influencia del ENSO, no es aislada, sino que se tiene una combinación de fases entre ésta, la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) y la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO, por sus siglas en inglés), ocasionando un dipolo de influencia en el norte y sur de México. Es decir, cuando las fases positivas del ENSO y PDO coinciden, ocurren eventos de sequía en el sur y eventos húmedos en el norte del país. Mientras que cuando las fases frías se presentan, ocurren eventos húmedos (eventos de superávit de precipitación con respecto a la normal) en el sur y eventos de sequía (eventos con déficit de precipitación con respecto a la normal) en el norte del país. Ambas teleconexiones están presentes, junto con la fase de la AMO. Cuando el ENSO y la PDO no están en fase, los eventos asociados no ocurren o su intensidad se mantiene en el límite normal.

Esto muestra que la variabilidad climática de México está fuertemente influenciada por una serie de patrones climáticos de escala global y regional. Entre los más importantes se encuentran El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO).

El ENSO, conocido por sus fases de El Niño y La Niña, es uno de los principales moduladores de la variabilidad climática interanual en México. Durante los eventos de El Niño, generalmente se observa un incremento de la precipitación en el norte del país y una disminución en el sur, mientras que La Niña tiende a producir un efecto contrario (Magaña et al., 2003; Chen et al., 2004). Este fenómeno se ve complementado por la PDO, un patrón climático de variabilidad decadal en el Pacífico Norte, que puede amplificar o atenuar los efectos del ENSO en la precipitación (Mantua & Hare, 2002; Zhang et al., 1997).

Por otro lado, la AMO, que se caracteriza por fases de variación multidecadal de la temperatura del Atlántico Norte, ha sido identificada como un factor significativo en la modulación de la precipitación en las regiones del este de México, especialmente en la Península de Yucatán y el Golfo de México. Las fases cálidas de la AMO suelen estar asociadas con un aumento en las precipitaciones, mientras que las fases frías tienden a reducirlas (Enfield et al., 2001; Knight et al., 2006).

En conjunto, estos fenómenos climáticos interactúan de manera compleja, produciendo variaciones en los patrones de precipitación que pueden tener efectos significativos en el desarrollo socioeconómico y en la gestión de riesgos en México. La comprensión de estas interacciones es clave para mejorar las predicciones climáticas y diseñar estrategias de adaptación ante el cambio climático.

En el caso del sureste de México, Andrade-Velázquez y Medrano-Pérez (2020), han reportado ya estudios sobre los patrones de precipitación mediante el SPI, encontrando una débil correlación entre los eventos húmedos con la fase La Niña y eventos secos con la fase El Niño, y a su vez con las fases de la PDO. Es por ello que el presente estudio se enfoca en determinar la correlación entre estas oscilaciones y la AMO con los patrones de precipitación mediante el SPI-12 y SPI-36.

Marco teórico

Andrade-Velázquez (2020) reporta en el estudio de la climatología de la precipitación en la zona sur, particularmente en zonas costeras, una comprensión de la vulnerabilidad por fenómenos hidrometeorológicos y climáticos a la que se exponen estas zonas a la influencia a fenómenos climáticos como son la PDO, AMO y ENSO, que a continuación se describen:

El Niño-Oscilación del Sur, se presenta como un sistema oceánico-atmosférico, que modula el clima. Es una combinación de cambios de presión en la atmósfera, conocido como Oscilación del Sur y cambios en la temperatura superficial del mar, El Niño, que ocurren en el océano Pacífico central y este ecuatorial. Sus fases son

neutra, fría (La Niña) y cálida (El Niño) y se monitorea mediante el índice oceánico del niño (ONI, por sus siglas en inglés). Este fenómeno tiene influencia en la precipitación a nivel mundial y particularmente en México (Méndez et al., 2010). Los desastres asociados son inundaciones y sequías.

La Oscilación Decadal del Pacífico es una oscilación de largo periodo en el océano Pacífico, sus efectos se presentan en la parte norte del océano Pacífico (Méndez et al., 2010). Se mide mediante las anomalías de la temperatura superficial del mar en esa zona, se manifiesta en fase positiva y negativa de la misma (Deser, et al., 2016). Su influencia es tipo ENSO con la de manera interanual.

La Oscilación Multidecadal del Atlántico, es una oscilación de largo periodo, aproximadamente de 20-40 años en el Océano Atlántico Norte, se mide por las anomalías de la temperatura superficial del mar, en fase fría y cálida. Sus efectos se perciben en el Atlántico desde el Ecuador hasta Groenlandia. Se le asocia con fuertes lluvias y sequías. La Agencia Nacional de Atmósfera y Océano de Estados Unidos de América (NOAA, 2019) sugiere que la fase positiva se vincula con huracanes en esa zona de mayor intensidad.

Estos fenómenos modulan los patrones de precipitación en distintas regiones del país, afectando tanto la cantidad como la distribución temporal y espacial de las lluvias, lo que a su vez tiene importantes implicaciones para la agricultura, los recursos hídricos y la gestión de desastres naturales.

Se propone el empleo del Índice Estandarizado de Precipitación, sugerido por la Organización Meteorológica Mundial (WMO) para determinar eventos de sequía (WMO, 2012). El SPI se calcula mediante la ecuación de distribución Pearson tipo III (Guttman, 1999):

$$f(x) = \frac{1}{a\Gamma} \frac{(x-a)^{b-1}}{a} \exp\left(\frac{-(x-c)}{a}\right) \quad \text{ec. 1}$$

Donde:

- a, b > 0 para los parámetros de escala y forma, y
- 0 < c < x para el parámetro de ubicación
- Γ es la función gamma

El SPI toma valores entre -2 y 2, los cuales se describen en la **Tabla 1**.

Para lograr el objetivo del estudio se usó la correlación de Pearson:

$$r_{xy} = \frac{\text{Cov}(x,y)}{\sqrt{\text{Var}(x)\text{Var}(y)}} \quad \text{ec. 2}$$

donde Cov es la covarianza de X, Y y Var es la varianza de X y Y, respectivamente.

Tabla 1. Valores del Índice Estandarizado de Precipitación y su clasificación

SPI Valor	Clasificación
≥ 2.0	Extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	Severamente húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Normal
-1.49 a -1.0	Moderadamente seco
-1.99 a -1.5	Severamente seco
≤ -2.0	Extremadamente seco

SPI: Índice estandarizado de precipitación

Fuente: Andrade-Velázquez & Medrano-Pérez, 2020

Metodología

a) Zona de estudio

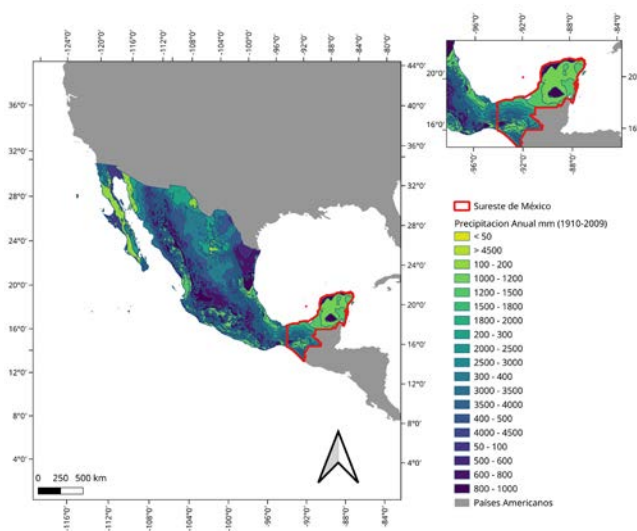
El sureste de México se conforma por los estados de Tabasco, Chiapas, Campeche, Quintana Roo y Yucatán. Son estados donde predomina un clima cálido – húmedo (Aw) de acuerdo con García, (2004). Tabasco y Chiapas, concentran dos grandes ríos que conforman la cuenca Grijalva-Usumacinta, con un 30 % de escorrentía a nivel nacional (BID, 2013). Los suelos en Tabasco son arcillosos y planos (Gama et al., 2010), mientras que Chiapas cuenta con un relieve diverso en su territorio, entre montañas y valles (Gallardo et al., 2019). La Península de Yucatán cuenta con suelos planos y ríos subterráneos (CONAGUA, 2024). No obstante, la vegetación en todo el sureste es abundante y cuenta con una gran diversidad biológica (Velázquez-Salazar et al., 2021). Esto ha propiciado construcciones para fomentar el turismo en la región, y, durante el 2018-2024 esta zona ha sido grandemente interferida por el proyecto gubernamental “Tren Maya” (Tren Maya, 2023). Sí bien la zona ha sufrido deforestación también se ha puesto atención en su conservación y reforestación en el mismo periodo de tiempo. Además de contar con una gran diversidad de construcciones prehispánicas de la cultura maya (INAH, 2024) (**Figura 1**).

b) Datos

La información se seleccionó de la base de datos de ERA5 (Hersbach et al., 2023), cuya resolución es de 0.25° x 0.25°. La variable empleada es la precipitación total, que cubre el periodo de tiempo de 1971 a 2021 en una ventana

de datos diarios. Esta base de datos ha sido reportada como adecuada para la zona de estudio (Stewart et al., 2021). Se procedió a convertir a la información en datos mensuales y anuales mediante promedios para cada respectivamente. Posteriormente para el análisis de eventos húmedos y secos, se utilizó el índice estandarizado de precipitación (WMO, 2012) para su cálculo en promedios anuales. También se usaron los índices oceánicos Oceanic Niño Index (ONI, derivado de las anomalías de la temperatura superficial del mar en 5N-5S de la base de datos ERSST.v5 en la región del Niño 3.4; Huang, et al., 2017), AMO (North Atlantic 0-60N SSTA derivado de ERSST.v5; Enfield, et al., 2001) y PDO derivado de las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico Norte (20N-70N) de la base de datos ERSST V5 (Newman et al. (2016); estos datos fueron empleados en el presente estudio por su amplia cobertura en tiempo, confiabilidad en su determinación y su disponibilidad en la NOAA (2024). Estos índices son ampliamente usados y con excepción del índice para el ENSO, qué cuenta con varias alternativas (MEI, Tri; Pompa-García & Némiga, 2015), para los propósitos del presente trabajo hemos optado por ONI. Se hace notar que estos índices fueron promediados a una ventana anual para hacer los estudios de correlación con el SPI en la región de estudio.

Figura 1. Mapa de precipitación anual para México y se indica la zona del presente estudio en polígono rojo



Fuente: Conabio, 2024

Resultados

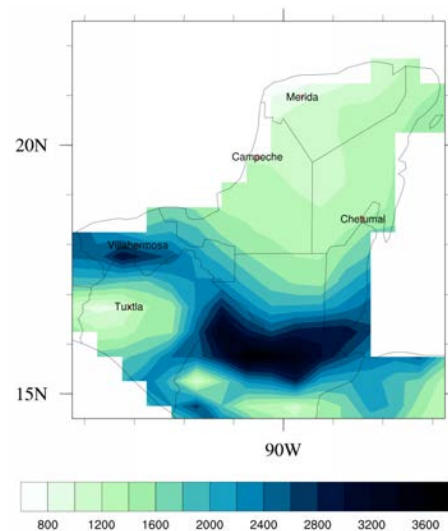
a) Precipitación

Se calculó la climatología de la precipitación acumulada por mes para el periodo de estudio (1971-2021).

Podemos observar que el estado de Tabasco y sureste de Chiapas concentran la mayor cantidad de precipitación alcanzando entre 180 mm/mes a 300 mm/mes. Mientras que la Península de Yucatán y el suroeste de Chiapas alcanzan una precipitación media al mes de entre 60 a 120 mm/mes. Esto nos permite identificar la zona más lluviosa del sureste de México (**Figura 2**). En esta zona corre el río Usumacinta, cuya región goza de una buena cobertura vegetal en la parte de México, ya que la parte de Guatemala ha sido severamente intervenida.

Por otro lado, en la cuenca del Grijalva, la zona más lluviosa se encuentra en los límites de Tabasco y Chiapas, cercano a la ciudad de Villahermosa. Es importante mencionar que Villahermosa ha sido frecuentemente afectada por inundaciones. Arreguín y colaboradores (2014) reportan las más importantes en los años de 1995, 1997, 2007, 2008 y 2010.

Figura 2. Mapa de climatología de 1971 a 2021 para la precipitación anual acumulada en mm/me

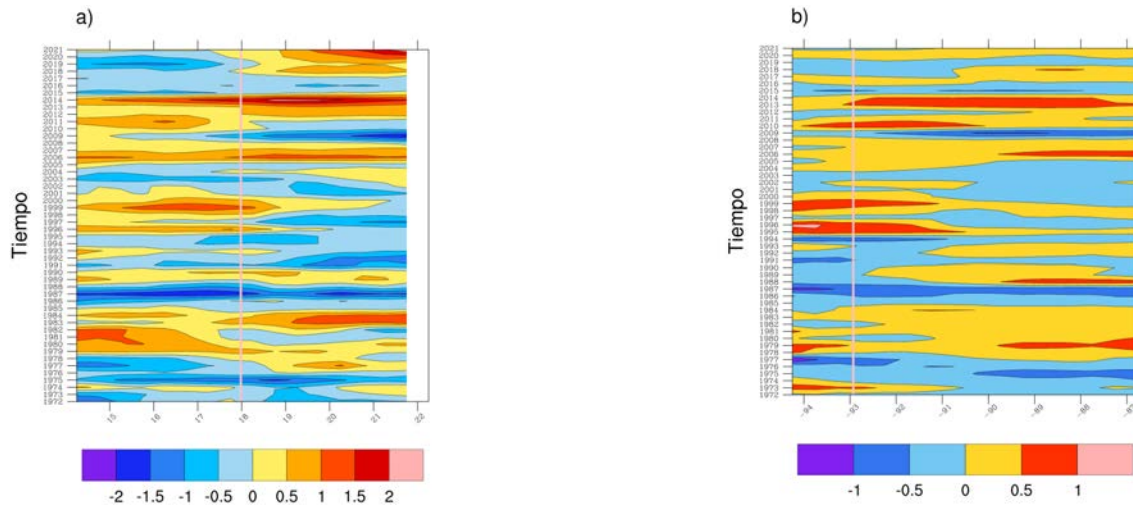


b) Índice estandarizado de precipitación

El cálculo del SPI-12 nos permite determinar los eventos húmedos y secos en la zona de estudio, de manera promediada arialmente, pero también se determina espacialmente. Las **Figuras 3a** y **3b** muestran el SPI-12 a lo largo del periodo de tiempo del estudio (1971 a 2021) *versus* la latitud y la longitud, respectivamente.

Se observa que en el caso de las inundaciones de los años que reportan Arreguín y colaboradores (2014) los eventos húmedos se encuentran al norte de la región, mientras que los eventos secos fueron identificados al sur de la región, principalmente en los años de 1972 a 1982 y 2006 a 2015. Por otro lado, la **Figura 3b** muestra que hacia el este

Figura 3. SPI-12 versus latitud (a) y longitud (b) del dominio analizado a lo largo del periodo de estudio 1971 a 2021. La línea en rosa indica las coordenadas de Villahermosa, Tabasco



de la zona de estudio hubo una gran sequía para los finales de las décadas de 1970 y principios de la de 1980, al igual que para principios de la de 2010. Y en la región oeste de la zona de estudio tenemos grandes eventos húmedos a finales del decenio de 1980 y principio del de 1990, así como a principio del de 2000. Villahermosa, muestra grandes eventos húmedos alrededor de 1975-1977 y 1986-1990.

c) Teleconexiones

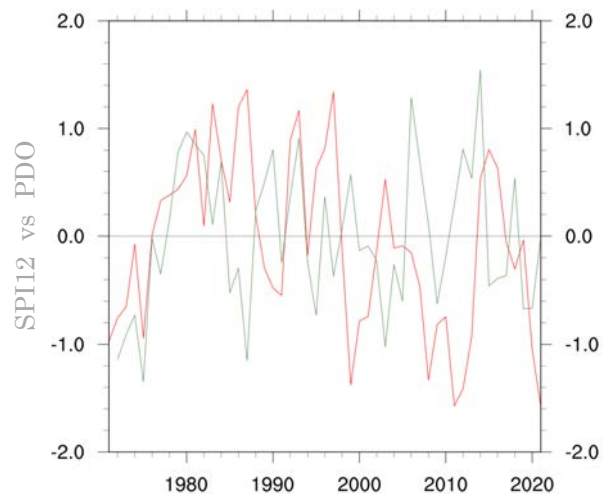
1) Oscilación decadal del Pacífico

Andrade-Velázquez & Medrano-Pérez (2020) han reportado una débil correlación entre los periodos húmedos y secos de la cuenca Grijalva-Usumacinta con la PDO. En la **Figura 4**, se grafican las fases de la PDO para el periodo de estudio 1971-2021, al igual que el SPI-12 promediado para la zona sureste de México. Esto con la finalidad de determinar si los eventos húmedos y secos en la zona de estudio se presentan en las fases frías y cálidas respectivamente de la PDO, tal como lo reportan Andrade-Velázquez y Medrano-Pérez (2020). Podemos observar que de 1971 a 1985, la fase cálida de PDO está presente y ocurren periodos húmedos en la zona. Esto se repite para los años 1992-1994. Pero el resto de los eventos húmedos, la PDO se encuentra en fase fría, coincidiendo con el resultado de Andrade-Velázquez y Medrano-Pérez (2020). Aunado a esto, también se observa que los eventos secos ocurren en las fases cálidas de PDO, en los años 1989-1992, 1998-2002, 2010 a 2014.

2) Oscilación multidecadal del Atlántico

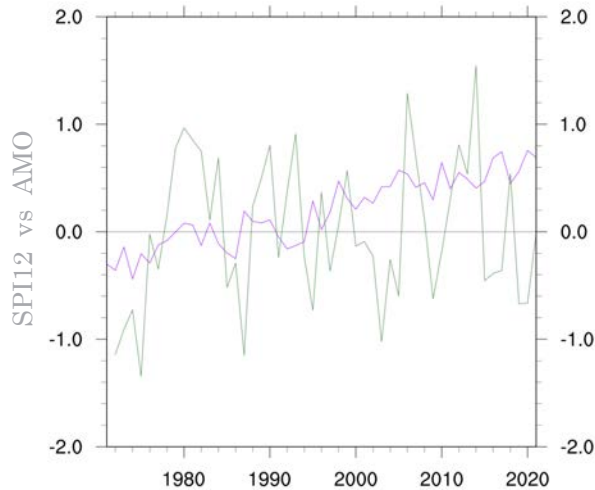
En el caso de la AMO (**Figura 5**) se observa que durante 1971 a 1994 la fase fría se mantuvo, cambiando a fase

Figura 4. Gráfica temporal en el periodo de estudio 1971 a 2021 de SPI-12 (en verde) y PDO (en rojo)



cálida posterior a 1994 hasta el último registro. En este caso, no podemos observar alguna influencia en la precipitación, de acuerdo con el SPI-12. Por lo que es conveniente realizar este ejercicio con un SPI de ventana mayor, el SPI-36. No obstante, después de la transición de fase de la AMO, PDO muestra mayor anticorrelación con la precipitación. Cabe mencionar que Méndez y Magaña (2010) reportaron que el dipolo geográfico de precipitación en México obedece a una combinación entre las tres oscilaciones presentadas en este estudio (AMO, PDO y ENSO).

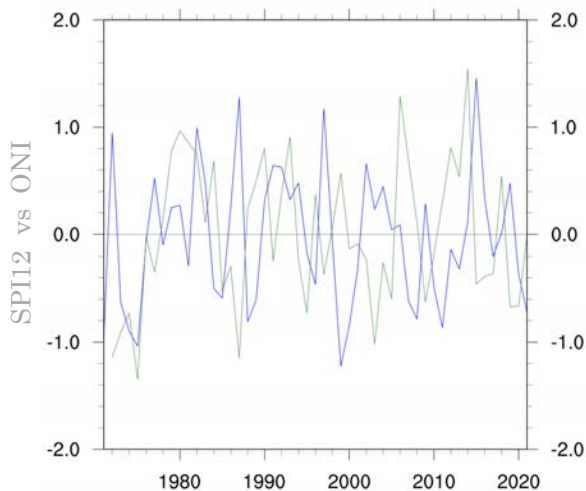
Figura 5. Gráfica temporal en el periodo de estudio 1971 a 2021 de SPI-12 (en verde) y AMO (en morado)



3) El Niño – oscilación del Sur

En la **Figura 6** se observa que la anticorrelación del SPI-12 con el ONI, índice del ENSO está presente. Se observa que los eventos húmedos coinciden con la fase fría del ENSO, conocida como La Niña, mientras que los eventos secos se asocian con la fase cálida, es decir, El Niño. Esto ha sido señalado también por Andrade-Velázquez y Medrano-Pérez (2020), así como por Andrade-Velázquez y colaboradores (2021).

Figura 6. Gráfica temporal en el periodo de estudio 1971 a 2021 de SPI-12 (en verde) y ONI (en azul)



Discusión

Los resultados del SPI-12 muestran concordancia con autores previos que reportan eventos secos y húmedos en diferentes puntos de la zona de estudio, tales como Arreguín et al. (2014), Valdés-Manzanilla, (2016) y Domínguez, (2016). Esto refuerza la técnica aplicada para toda la zona de estudio. Otro de los resultados interesantes que muestra el presente estudio es la anticorrelación entre las fases de PDO y ENSO con el SPI-12, como son Méndez y Magaña (2010), Andrade-Velázquez y Medrano-Pérez, (2020), Andrade-Velázquez et al. (2021). Estos también han sido señalados anteriormente por Magaña y colaboradores (2003), Chen y colaboradores (2004), y Kossin y colaboradores (2010). En el mismo sentido se sumó la presencia de la AMO y no se encontraron correlaciones relevantes, a pesar de que el periodo de estudio 1971 a 2021 cuenta con cambio de fase de la AMO, como lo indican Méndez y Magaña (2010).

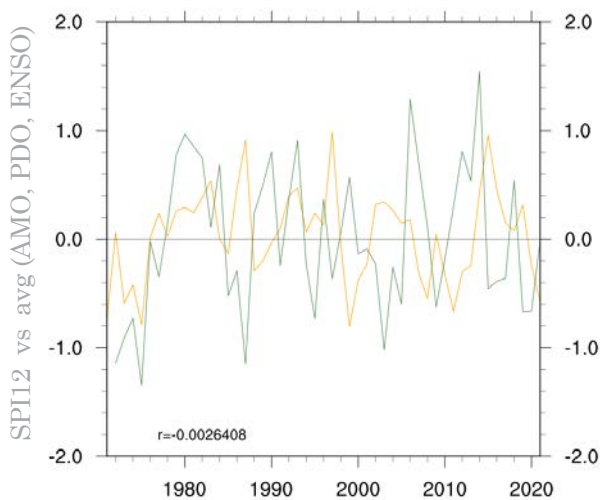
Calculando la correlación entre las oscilaciones y el SPI-12, se confirma la anticorrelación con ENSO, pero no es así con PDO y AMO. Aunque las gráficas muestran esta antirrelación, la correlación de Pearson muestra que existe una correlación directa baja (ver **Tabla 2**), mientras que haciendo la combinación promediada de las tres oscilaciones (esto se hace, dado el comportamiento similar de los índices climáticos para las oscilaciones), sí muestran esta anticorrelación. Esto se debe a la alta anticorrelación de ENSO, que predomina en esta combinación (**Figura 7**). Esto puede deberse a que la señal de ENSO es de alta frecuencia, mientras que PDO es de más baja frecuencia (Andrade-Velázquez et al., 2021). Se ha planteado este análisis de combinación a partir de la propuesta de dipolo que reportan Méndez y Magaña, (2010).

Hay que mencionar que esta zona que es afectada por ciclones tropicales, para la parte sur, estos fenómenos provienen del océano Pacífico (Dominguez et al., 2021). Y estos son más frecuentes en el océano Atlántico cuando hay fase La Niña del ENSO (Magaña et al., 1998, Andrade-Velázquez, 2017), mientras que la NOAA reporta que cuando la fase cálida de la AMO es activa, los huracanes en el Atlántico son más frecuentes (NOAA, 2019). Otros de los fenómenos hidrometeorológicos son los frentes fríos, estos son más recurrentes en fase La Niña que en fase El Niño (Magaña et al., 2009). La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) también es influenciada por estas oscilaciones, modificando la cantidad de precipitación en la zona de estudio. Sáenz y colaboradores (2022) reportan que en fases frías aumenta la precipitación en la región.

Un estudio reciente, revisó la influencia individual y combinada de ENSO, AMO y PDO en los periodos secos de México (Mijares-Fajardo y Martínez-Austria, 2023). Mediante una revisión sistemática de más de 70 documentos usando la metodología PRISMA, el estudio reporta coincidencias clave: La Niña (El Niño) provoca

Tabla 2. Correlación de Pearson entre el SPI-12, las oscilaciones ENSO, PDO, AMO y su combinación promedio

Correlación "r"	ENSO/significancia	PDO/significancia	AMO/significancia	AVG (ENSO, PDO, AMO)/ significancia
SPI-12	-0.116/0.415	0.042/0.765	0.075/0.599	-0.003/0.985
SPI-36	0.367/0.007	0.298/0.033	0.012/0.930	0.398/0.004

Figura 7. Gráfica temporal en el periodo de estudio 1971 a 2021 de SPI-12 (en verde) y la combinación promediada de las oscilaciones (en naranja)

condiciones secas (húmedas) en el norte de México, tanto en invierno como en verano. Además, en esta región, AMO+ (fase positiva de la AMO) se asocia con sequías en verano y PDO- (fase negativa de la PDO) en invierno. Para el centro y sur de México, El Niño genera sequías, mientras que La Niña aumenta la humedad. En estas zonas, AMO- (AMO+) y PDO+ también tienen efectos en las condiciones de sequía (humedad).

Otro trabajo notable estudió la influencia del ENSO, la PDO y la AMO en la precipitación extrema del norte de México asociada y no-asociada con ciclones tropicales (Llanes-Cárdenas et al., 2020). Después de analizar tendencias no paramétricas, no se encontraron tendencias estadísticamente significativas; sin embargo, las tendencias lineales indicaron una leve tendencia positiva en los ciclones tropicales en la región costera del sur de Sonora y norte de Sinaloa. Los resultados también sugieren que las tendencias

de precipitación están más influenciadas por las anomalías relacionadas con ENSO que por las anomalías PDO y AMO.

En el caso de ENSO bajo la influencia del forzamiento antropogénico, hasta ahora no hay una claridad (Yeh, et al., 2018; Andrade-Velázquez & Medrano-Pérez 2021). Esto en parte se debe a la incertidumbre asociada a las proyecciones de los modelos de circulación general.

Conclusiones

El presente trabajo hace un análisis sobre los patrones de precipitación definidos mediante el SPI-12 para correlacionar con las grandes oscilaciones climáticas AMO, PDO y ENSO, recurrente llamadas en la influencia del clima local. Se muestra que si bien en el periodo de estudio 1971 a 2021 (51 años) existe concordancia entre las fases frías de ENSO y PDO con los eventos húmedos, la correlación de Pearson muestra esto solo para el fenómeno ENSO. Cabe mencionar que ENSO es de alta frecuencia, lo que tiene mejor respuesta a los cambios anuales, como lo muestra el SPI-12. La anticorrelación de ENSO con la precipitación encontrada en este estudio para la zona sur-sureste de México contribuye al conocimiento del clima local. Si bien AMO parece no tener influencia relevante, el estudio con ventanas diferentes del SPI para comparar las señales de AMO y PDO, tal como 36 meses, permitió observar que AMO mostró mejor correlación. Consideramos que la AMO pueda abarcar un periodo de estudio mayor (> 50 años). Por otro lado, en ventana de 36 meses la correlación de ENSO es positiva, este resultado debe tomarse con precaución, ya que como se mencionó ENSO es una oscilación de alta frecuencia. En la combinación de las oscilaciones y SPI-36 sigue predominando la señal de ENSO. Los resultados presentados son una primera base para estudios de clima en la región sureste de México que contribuyen a la comprensión del comportamiento de la precipitación en la zona. No obstante, se requiere continuar con estudios climáticos locales y su respuesta a los forzamientos naturales y antropogénicos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Red Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim) y a los Laboratorios Nacionales LaNCAC y LANRESC. También se agradece al programa de Investigadores por México y al Centro de Cambio Global y la Sustentabilidad, así como a la Unión Geofísica Mexicana.

Referencias

- Andrade-Velázquez, M. (2017). Visión climática de la precipitación en la cuenca del Río Usumacinta. In: Soares, D., García, G.A., Eds. *La Cuenca del Río Usumacinta desde la Perspectiva del Cambio Climático*. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua: 1–417.
- Andrade-Velázquez, M., Medrano-Pérez, O. R. (2020). Precipitation patterns in Usumacinta and Grijalva basins (southern Mexico) under a changing climate. *Revista Bio Ciencias*, 7, e905. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e905>
- Andrade-Velázquez, M., Medrano-Pérez, O.R. (2021). Historical precipitation patterns in the South-Southeast region of Mexico and future projections. *Earth Sci Res J*, 25, 69–84.
- Arreguín-Cortés, F. I., Rubio-Gutiérrez, H., Domínguez-Mora, R., De Luna-Cruz, F. (2014). Análisis de las inundaciones en la planicie tabasqueña en el periodo 1995-2010. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(3), 05-32. <https://revistatyc.org.mx/index.php/tyca/article/view/424>
- BID. (2013). *Diagnóstico integrado con identificación de áreas prioritarias del PAOM. Resumen Ejecutivo*. Banco Interamericano de Desarrollo. https://www.ceieg.chiapas.gob.mx/productos/files/OTBID/Volumen1_PAOM_Diagn%C3%B3stico_ResumenEjecutivo.pdf
- Chen, J., Wilson, C. R., & Tapley, B. D. (2004). Interannual variability of the low-degree gravitational field from GRACE. *Geophysical Research Letters*, 31(L22607), 1-4.
- CONAGUA. (2024). *Plan Nacional Hídrico. Región Hidrológica Administrativa XII*. https://files.conagua.gob.mx/conagua/generico/PNH/PHR_2021-2024_RHA_XII_Pen%C3%ADnsula_de_Yucat%C3%A1n.pdf
- Deser, C., Trenberth, K. y National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). (2016). *The Climate Data Guide: Pacific Decadal Oscillation (PDO): Definition and Indices*.
- Domínguez, J. (September-October, 2016). Different Perspectives on Drought: A Historical Review of the Mexican Case. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 7(5), 77-93.
- Domínguez, C., Jaramillo, A., Cuéllar, P. (2021). Are the socioeconomic impacts associated with tropical cyclones in Mexico exacerbated by local vulnerability and ENSO conditions? *Int J Climatol*, 41, E3307–E3324.
- Enfield, D. B., Mestas-Núñez, A. M., & Trimble, P. J. (2001). The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental US. *Geophysical Research Letters*, 28(10), 2077-2080.
- Gallardo-Cruz, J.A., Fernández-Montes de Oca, A., and Rives, C. (2019). Detección de amenazas y oportunidades para la conservación en la cuenca baja del Usumacinta a partir de técnicas de percepción remota. *Ecosistemas*, 28(2):82. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1611>
- Gama, L., Ordoñez, E.M., Villanueva-García, C., Ortiz-Pérez, M. A., López, H. D., Torres, R. C., Valadez, M. E. M. (2010). Floods in Tabasco Mexico: history and perspectives. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 133. <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/133/21017>
- García, E. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*, 5th ed. Instituto de Geografía, UNAM: Ciudad de México, México, 2004; Available online: <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83>
- Guttman, N. B. (1999). Accepting the Standardized Precipitation Index: A calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(2), 311-322. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., et al. (2023). ERA5 Hourly Data on Pressure Levels from 1940 to Present. *Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)*. Available online: <https://doi.org/10.24381/cds.bd0915c6>
- Huang, B., Peter W. Thorne, et. Al. (2017). Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validations, and intercomparisons. *Journal of Climate*, 30, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1
- INAH. (2024). *Región Cultural Sureste (Área Maya)*. Instituto Nacional de Antropología e Historia. <https://lugares.inah.gob.mx/es/zonas-arqueologicas/regiones-culturales/cultura/14285-sureste.html>
- Knight, J. R., Folland, C. K., & Scaife, A. A. (2006). Climate impacts of the Atlantic multidecadal oscillation. *Geophysical Research Letters*, 33(L17706), 1-4.
- Kossin, J. P., Camargo, S. J., & Sitkowski, M. (2010). Climate modulation of north atlantic hurricane tracks. *Journal of Climate*, 23(11), 3057–3076. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3497.1>
- Llanes-Cárdenas, O., Norzagaray-Campos, M., Gaxiola, A., & González, G. E. G. (2020). Regional precipitation teleconnected with PDO-AMO-ENSO in northern Mexico. *Theoretical and Applied Climatology*, 140, 667-681.
- Magaña, V., Pérez, J. L., Conde, C. (1998). El fenómeno de El Niño y la Oscilación del Sur y sus impactos en México. *Revista Ciencias*, 51, pp. 14-18.
- Magaña, V., Vázquez, J. L., Pérez, J. L., & Pérez, J. B. (2003). Impact of El Niño on precipitation in Mexico. *Geofísica Internacional*, 42(3), 313-330.
- Mantua, N. J., & Hare, S. R. (2002). The Pacific decadal oscillation. *Journal of Oceanography*, 58(1), 35-44.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scale*. In Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 17–22 January 1993. Boston, American Meteorological Society, 179–184. http://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf
- Méndez González, J., Ramírez Leyva, A., Cornejo Oviedo, E., Zárate Lupercio, A., Cavazos Pérez, T. (2010). Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) a la precipitación y temperatura en México. *Investigaciones Geográficas*, (73): 57-70.

- Méndez, M., & Magaña, M. (2010). Regional aspects of prolonged meteorological droughts over Mexico and Central America. *Journal of Climate*, 23, 1175–1188. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3080.1>
- Mijares-Fajardo, R. & Martínez-Austria, P. F. (2021). Influences of ENSO, AMO, and PDO over Dry Periods in Mexico: A Systematic Review (1984–2020). En *Technology, Science and Culture: A Global Vision, Volume IV*. UDLAP, Puebla, Puebla, México, 251-273.
- Newman, M., Alexander, M. A., Ault, T. R., Cobb, K. M., Deser, C., Di Lorenzo, E., et al. (2016). The Pacific Decadal Oscillation, Revisited. *Journal of Climate*, 29(12), 4399–4427, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0508.1>.
- NOAA. (2019). *National Oceanic & Atmospheric Administration. Atlantic Oceanographic & Meteorological Laboratory*. Sitio visitado en febrero 2019: http://www.aoml.noaa.gov/phod/amo_faq.php.
- Pompa-García, M. & Némiga, A.X. (2015). ENSO index teleconnection with seasonal precipitation in a temperate ecosystem of Northern Mexico *Atmósfera*, 28 (2015), 43-50.
- Sáenz F, Hidalgo HG, Muñoz ÁG, Alfaro EJ, Amador JA, Vázquez-Aguirre JL. (2022). Atmospheric circulation types controlling rainfall in the Central American Isthmus. *Int J Climatol*, 43(1):197–218. <https://doi.org/10.1002/joc.7745>
- Secretaría de Turismo y Fonatur. Gobierno de México. (2023). *Tren Maya*. Available online: <https://www.gob.mx/trenmaya>
- Stewart, I.T., Maurer, E.P., Stahl, K. and Joseph, K. (2021). Recent evidence for warmer and drier growing seasons in climate sensitive regions of Central America from multiple global datasets. *International Journal of Climatology*, 42, 1399–1417. <https://doi.org/10.1002/joc.7310>
- Valdés-Manzanilla, A. (2016). Historical floods in Tabasco and Chiapas during sixteenth–twentieth centuries. *Natural Hazards*, 80:1563–1577. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2039-5>
- Velázquez-Salazar S., Rodríguez-Zúñiga M.T., Alcántara-Maya J.A., Villeda-Chávez E., Valderrama-Landeros L., Troche-Souza C., et al. (2021). *Manglares de México. Actualización y análisis de los datos 2020. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. México CDMX. Pp. 168 https://ceiba.org.mx/publicaciones/Mares_y_costas/2020_Manglares.de.Mexico_CONABIO.pdf
- WMO. (2012). *Índice normalizado de precipitación. Guía del usuario*. OMM-N 1090.
- Yeh, S.-W., Cai, W., Min, S.-K., McPhaden, M. J., Dommenges, D., Dewitte, B., et al. (2018). ENSO atmospheric teleconnections and their response to greenhouse gas forcing. *Reviews of Geophysics*, 56, 185–206. <https://doi.org/10.1002/2017RG000568>



Índice estandarizado de precipitación (SPI) para evaluar la sequía meteorológica en Tulum, Quintana Roo

Standardized Precipitation Index (SPI) to evaluate meteorological drought in Tulum, Quintana Roo

Gerardo Daniel López Montejó^{1*}
María Luisa Hernández Aguilar¹
Norma Angélica Oropeza García¹
Bonnie Lucía Campos Cámara²

¹División de Ciencias, Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, México

²División de Ciencias Políticas y Económicas, Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, México

*Autor de correspondencia: lmontejo@uqroo.edu.mx

Editor encargado: Dr. Oscar Frausto Martínez

Editora invitada: Dra. Ana Cecilia Travieso Bello

Recibido: 30 de agosto de 2024 - Aceptado: 30 de septiembre de 2024

Resumen

Este estudio analiza la sequía en el municipio de Tulum, Quintana Roo, utilizando el Índice estandarizado de precipitación (SPI), desarrollado por McKee y colaboradores (1993,1995), que es ampliamente utilizado en el monitoreo de la sequía debido a su simplicidad y eficacia para analizar periodos húmedos y secos. Se emplearon 43 años de datos de precipitación de CHIRPS (1981 a julio de 2024) procesados en Google Earth Engine®. Los resultados muestran la tendencia del fenómeno a lo largo del tiempo. Se identificaron periodos de sequía extrema en 1986 y 1989, con impactos en la agricultura, ecosistemas y recursos hídricos. El análisis reveló un aumento en la amplitud de las fluctuaciones del SPI en las últimas dos décadas, posiblemente relacionado con el cambio climático global. El estudio proporciona una base para futuras investigaciones sobre la relación entre el cambio climático y la frecuencia e intensidad de las sequías en la región, destacando la importancia de implementar estrategias de gestión adaptativa.

Palabras clave: Meteorología, Climatología, Alerta temprana, Recursos hídricos

Abstract

This study analyzes drought in the municipality of Tulum, Quintana Roo, using the Standardized Precipitation Index (SPI), developed by McKee et al. (1993,1995), which is a widely used indicator to monitor drought due to its simplicity and effectiveness in analyzing wet and dry periods. Forty-three years of CHIRPS precipitation data (1981 to July 2024) processed in Google Earth Engine®. The results show the trend of the phenomenon over time. Periods of extreme drought were identified in 1986 and 1989, with impacts on agriculture, ecosystems and water resources. The analysis revealed an increase in the amplitude of SPI fluctuations in the last two decades, possibly related to global climate change. The study provides a basis for future research on the relationship between climate change and the frequency and intensity of droughts in the region, highlighting the importance of implementing adaptive management strategies.

Keywords: Meteorología, Climatología, Alerta temprana, Recursos hídricos

Introducción

La sequía meteorológica se define como un fenómeno climático caracterizado por un déficit de precipitación en una región específica en un periodo prolongado de tiempo (Estrada-Medina, et al., 2016 citado por Escobar, 1997). Este fenómeno tiene impactos negativos en el ambiente, las actividades económicas y agropecuarias, la salud humana y los recursos hídricos (Velasco, et al., 2005; Infante Ramírez, 2019).

En 2021, diversos países de América Latina y el Caribe experimentaron los efectos negativos de este fenómeno; los impactos más severos fueron en México, Chile, Brasil, Argentina y Paraguay. En México, más de la mitad del territorio nacional se vio afectado por al menos un episodio de sequía grave (Organización Meteorológica Mundial (OMM), (2022).

Para cuantificar y analizar la sequía se han desarrollado diversos índices. Uno de los primeros fue el Índice de severidad de la sequía de Palmer (PDSI), propuesto en 1965. El PDSI tenía como objetivo permitir comparaciones de sequía entre diferentes regiones y periodos temporales. Sin embargo, estudios posteriores demostraron que tales comparaciones no eran válidas y conducían a conclusiones erróneas (Alley, 1984; Guttman, 1998; Hayes, et al., 1999). Posteriormente, McKee y colaboradores (1993, 1995) desarrollaron el Índice de precipitación estandarizado (SPI, por sus siglas en inglés). A diferencia del PDSI, el SPI fue diseñado específicamente para cuantificar el déficit de precipitación en múltiples escalas temporales, lo que representa una ventaja significativa en el análisis de este fenómeno climático.

El SPI es ampliamente utilizado para monitorear la sequía debido a su simplicidad y eficacia para analizar periodos húmedos y secos. Utiliza solo los valores de precipitación para calcular la sequía y puede ser estimado para diferentes escalas temporales, desde un mes hasta 48 meses, lo que permite evaluar la severidad de la sequía a corto y a largo plazos (Pyarali, 2022).

Las respuestas de los sistemas hidrológicos y agrícolas a las anomalías de precipitación se manifiestan en diversas escalas temporales. Los parámetros meteorológicos y edáficos, relevantes para la agricultura, exhiben una sensibilidad a fluctuaciones pluviométricas en periodos entre 1 y 6 meses. En contraste, los componentes hidrológicos de mayor envergadura, como los caudales fluviales, los sistemas de almacenamiento hídrico y los acuíferos, presentan una respuesta en rangos de 6 a 24 meses o incluso periodos más extensos (OMM, 2022).

El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar la dinámica temporal de los eventos de sequía en el municipio de Tulum mediante la aplicación del SPI. La metodología empleada se basa en el análisis de una serie temporal de 43 años de datos pluviométricos (1981 a 2024)

obtenidos de CHIRPS (Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station Data) [Funk et al., 2015], procesados mediante la plataforma geoespacial Google Earth Engine®, que es una herramienta web para el análisis y procesamiento de datos geoespaciales (Perilla & Mas, 2020).

Marco de referencia

El fenómeno de la sequía presenta una complejidad conceptual que se refleja en diversas categorizaciones, dependiendo del contexto de su aplicación y análisis (Valiente, 2021). La definición fundamental se basa en un déficit de precipitación durante un periodo prolongado, aunque la cuantificación de este déficit es variable y depende de las características climáticas específicas de la región afectada.

La Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1975, citado en Núñez et al., 2007) propuso una clasificación tripartita de la sequía: meteorológica, hidrológica y agrícola. Esta categorización ha sido ampliamente adoptada en la literatura científica.

La sequía meteorológica se define como una desviación negativa estadísticamente significativa de la precipitación respecto a la media climatológica en un periodo determinado (Valiente, 2021). Debido a la variabilidad espacial de los regímenes de precipitación, no es factible establecer umbrales universales para su definición, lo que resulta en caracterizaciones específicas para cada región climática.

La sequía agrícola se caracteriza por un déficit de humedad en el suelo que impacta negativamente el desarrollo y rendimiento de los cultivos. Este fenómeno se exacerba cuando el déficit de precipitación coincide con condiciones de alta temperatura, baja humedad relativa y elevada radiación solar, lo que intensifica los procesos de evapotranspiración (Quiring & Papakryiakou, 2003; Wu et al., 2004; Narasimhan & Srinivasan, 2005, citados en Hernández et al., 2022). La duración de este tipo de sequía puede oscilar entre 1 y varios meses.

La sequía hidrológica se manifiesta cuando la persistencia de condiciones atmosféricas deficitarias en precipitación afecta significativamente la recarga de cuerpos de agua superficiales y acuíferos. Este fenómeno se evidencia por una disminución en los volúmenes de escorrentía e infiltración (Núñez et al., 2007).

Estos tres tipos de sequía no son mutuamente excluyentes, sino que representan un continuo en la evolución temporal y la propagación de los impactos del déficit hídrico a través del ciclo hidrológico y los sistemas ecológicos y socioeconómicos asociados (Guo et al., 2018).

La Península de Yucatán se caracteriza por un régimen de precipitación complejo. Según Orellana y colaboradores (2009, citado en Estrada-Medina, et al., 2016), aunque generalmente predomina un régimen de lluvias de

verano, algunas áreas presentan un patrón intermedio o una distribución más uniforme de precipitaciones con tendencia a concentrarse en verano.

Un factor crucial en la dinámica de sequías en la región es la “sequía de medio verano” o “canícula”, que es un patrón de precipitación que tiene dos periodos húmedos separados por un periodo más seco en medio del verano (Zhao and Zhang, 2021 citado por García-Franco et al., 2023). Este fenómeno intraestival es común en la Península de Yucatán, así como en gran parte de México, Centroamérica y el Caribe. A pesar de su importancia, los mecanismos que rigen la estacionalidad de las precipitaciones no se comprenden completamente (García-Franco et al., 2023).

Métodos

Este estudio tiene como objetivo evaluar el comportamiento temporal de la sequía en el municipio de Tulum utilizando el SPI. Para lograrlo, se utilizaron 43 años de datos de precipitación de CHIRPS en la plataforma web Google Earth Engine®.

CHIRPS constituye un conjunto de datos pluviométricos de cobertura cuasiglobal, de resolución media (0.05°), abarcando un periodo de más de cuatro décadas de recolección de datos. Esta base de datos integra información proveniente de imágenes satelitales con mediciones *in situ* de estaciones meteorológicas terrestres. CHIRPS genera series temporales de precipitación en formato reticular (Funk et al., 2015).

El cálculo del SPI se fundamenta en los registros históricos de precipitación para un lugar y periodo específicos (OMM, 2022). Dichos registros se ajustan a una distribución de probabilidad adecuada. Comúnmente se utiliza una distribución Gamma, dado que se adapta bien a la naturaleza de los datos de precipitación, que son positivos y asimétricos (Liu et al., 2021; González et al., 2011). A continuación, se transforma en una distribución normal, de manera que el valor medio del SPI calculado sea 0, valores positivos indican precipitaciones por encima de la mediana y valores negativos señalan un déficit en la precipitación (Edwards & McKee, 1997).

Para el cálculo del SPI, se establecieron categorías para los valores resultantes. Estas categorías se basan en la *Guía del usuario del Índice Normalizado de Precipitación* (OMM, 2012). Los valores positivos/negativos del SPI indican que la precipitación es mayor/menor que la mediana. Es decir, los valores negativos indican déficit y los positivos, exceso (Tabla 1).

Para el municipio de Tulum, se cuantificaron las condiciones de déficit o exceso de precipitación para 6, 12 y 24 meses. Los datos obtenidos para el cálculo de SPI a través de Google Earth Engine® cubrieron un periodo de 43 años (1981 a julio 2024).

Tabla 1. Categorías de sequía con base en el Índice estandarizado de precipitación

SPI	Categoría de precipitación	Frecuencia teórica de ocurrencia
2.0 o más	Extremadamente húmedo	1 en 50 años
1.5 a 1.99	Severamente húmedo	1 en 20 años
1.0 a 1.49	Moderadamente húmedo	1 en 10 años
0.50 a 0.99	Ligeramente húmedo	1 en 3 años
-0.49 a 320.49	Normal	1 en 3 años
-0.5 a -0.99	Ligeramente seco	1 en 3 años
-1.00 a -1.49	Moderadamente seco	1 en 10 años
-1.5 a -1.99	Muy seco	1 en 20 años
-2 o menos	Extremadamente seco	1 en 50 años

Fuente: OMM, 2012

Área de estudio

El área de estudio comprende el municipio de Tulum, ubicado en el extremo meridional del Corredor Turístico Cancún-Tulum, conocido como la Riviera Maya, en el estado de Quintana Roo, sureste de México. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la población del municipio al 2020 era de 46 721 habitantes (INEGI, 2020).

El municipio comprende una superficie de 2040.94 km². Sus límites geográficos están definidos de la siguiente manera: al norte colinda con el municipio de Solidaridad; al este con el municipio de Cozumel y el Mar Caribe; al sur con el municipio de Felipe Carrillo Puerto, y al oeste con el estado de Yucatán (Figura 1).

Los suelos del municipio se conforman de leptosoles y regosoles en rocas calizas provocando que en periodos de lluvias el agua se infiltre con rapidez, disolviendo la roca y formando un relieve denominado karst con formaciones de dolinas, la casi nula presencia de corrientes superficiales, un sistema subterráneo de agua y la abundancia de cuevas y cavernas (De Waele, et al., 2011).

Según con la clasificación climática de Köppen, la Península de Yucatán tiene un clima cálido subhúmedo con temperatura promedio anual mayor a 22 °C y ocurrencia de lluvias en verano y otoño (junio a noviembre), con un gradiente de precipitación general de seco hacia el noroeste (600 mm) y más húmedo hacia el sureste (1400 mm), clasificado como Aw (García, 1988). Las precipitaciones que se presentan son principalmente convectivas y por influencia de los vientos alisios que traen humedad del Atlántico (Strahler y Merali, 2008).

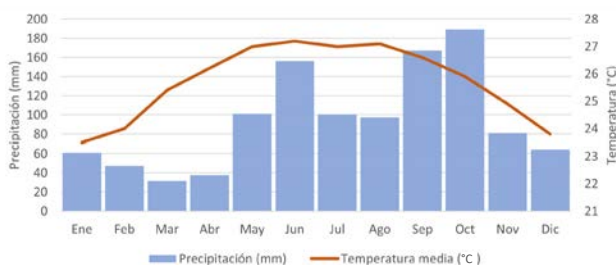
Figura 1. Mapa del municipio de Tulum



Fuente: OMM, 2012

El municipio de Tulum presenta un tipo de clima cálido subhúmedo [Ax'(w1)] con temperatura promedio anual mayor de 22 °C, lluvias en verano y alto porcentaje de lluvia invernal (10.2 %) (García, 2004). La menor cantidad de días con lluvia es durante el mes de abril (3.2 días), mientras que el mes más lluvioso es septiembre (12.8 días), como se observa en la **Figura 2**.

Figura 2. Climograma de la estación meteorológica en la localidad de Tulum, 1991 – 2020 (Latitud: 20.2255°, Longitud: -87.45805°)



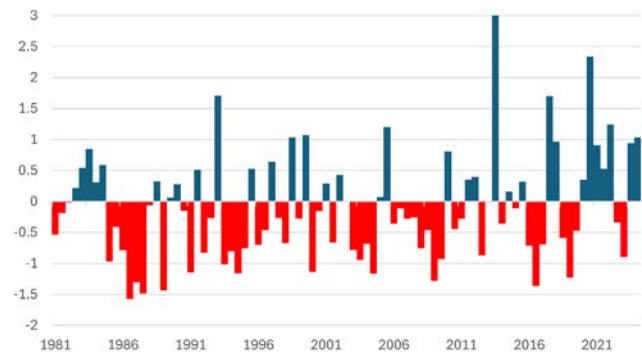
Fuente: OMM, 2012

Resultados

Los resultados muestran la variabilidad del SPI durante el periodo de estudio (**Figuras 3 a 5**) y permiten la identificación de patrones y tendencias en la frecuencia, intensidad y duración de los eventos de sequía en la región.

La distribución del SPI de 6 meses (**Figura 3**), a lo largo del periodo analizado (desde enero de 1981 hasta julio de 2024), muestra las fluctuaciones interanuales. Se puede observar que desde el año 1985 al segundo semestre de 1987 los valores del SPI fueron negativos. De acuerdo con la **Tabla 1**, se han registrado algunos periodos ligeramente secos, como los que hubo entre julio de 1993 a enero de 1995, enero de 2003 a julio de 2004, de enero de 2008 a julio de 2009; y los de enero de 2016 a enero de 2017. De enero de 1985 a julio de 1987 se registró un periodo muy seco; el segundo semestre del año 1986 registró el valor más alto de SPI (-1.57)

Figura 3. Gráfica del SPI de 6 meses



La gráfica de la distribución interanual del SPI 12 meses (**Figura 4**) parece indicar una disminución de años con valores de SPI negativos en el periodo 2010 a 2024 respecto de las décadas anteriores. Los años con valores más altos de SPI han ocurrido en este periodo (2013: 2.13, 2020: 2.23 y 2023:2.21).

En el periodo 2001 a 2010 se registraron 9 años con valores de SPI negativos, esta década muestra el mayor de número de años con valor ligeramente seco (-0.5 a -0.99). Las dos décadas anteriores (1981 a 2000) presentan los valores negativos de SPI más importantes (de ligeramente seco a muy seco), siendo que en 1986 se registró el valor más bajo del SPI de -1.872, seguido por 1993 (-1.194) y 1994 (-1.279).

El SPI de 24 meses (**Figura 5**) registra periodos bianuales de la anomalía de la precipitación; la gráfica muestra un amplio periodo con valores negativos, que abarca desde 1984 a 1996 (12 años), otro periodo seco de 2000 a 2008 (8 años) y valores positivos del SPI a partir del año 2010.

Figura 4. Gráfica del SPI de 12 meses

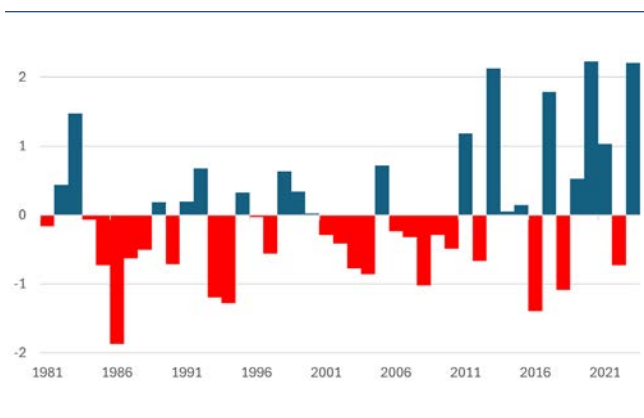
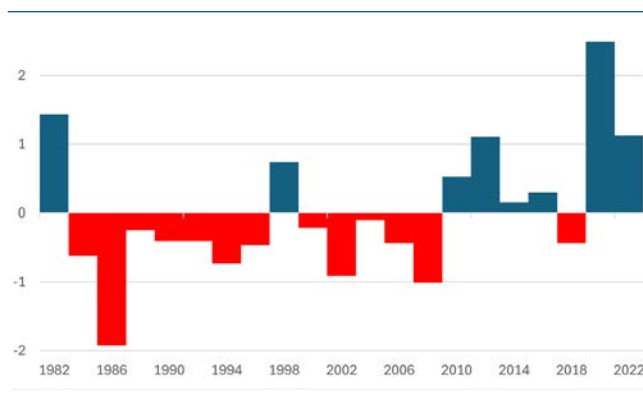


Figura 5. Gráfica del SPI de 24 meses



Discusión

La intensidad de las precipitaciones tiene un impacto crucial en la configuración del espacio geográfico, por lo que comprender su distribución y variación a lo largo del tiempo es fundamental para la planificación territorial o para investigaciones de climatología aplicada (Blanco, 2020).

Algunos estudios han analizado el comportamiento de la precipitación en la región donde se ubica el municipio de Tulum (Península de Yucatán) y han llegado a la conclusión de que este fenómeno presenta una alta variabilidad (Romero et al., 2020; Rodríguez Morales et al., 2023; Márdero et al., 2012), tal como puede observarse en las Figuras 3 a 5. Por lo tanto, el SPI no representa de la mejor manera los periodos de sequía en las zonas tropicales (Romero, 2020) como el municipio de Tulum.

Los resultados revelan la ocurrencia de episodios de sequía en la región de Tulum, como los que sucedieron en 1985-1987 y 1994-1995, siendo el periodo muy seco de julio de 1986 (SPI-12 de -1.872) el más valor más bajo para el periodo de estudio. Esto coincide con lo encontrado por Márdero et al. (2012) para ocho estaciones meteorológicas ubicadas en la región del estudio y a lo reportado por Bárcena et al. (2010) “en el periodo de 1981 a 1999 la precipitación anual de la Península de Yucatán presentó una reducción del 10 al 15 % en la estación más seca y más del 30 % en la estación más lluviosa” señalado en Estrada & Cobos (2014).

El aumento en la frecuencia de periodos húmedos (valores de SPI positivos) observado en las últimas dos décadas en el municipio de Tulum podría estar relacionado con el cambio climático global (Lobato & Mejía, 2021; Márdero, 2012).

Aun cuando la intensidad de la sequía no representa un gran peligro, produce pérdidas económicas, aumento de

costos de producción y bajo rendimiento en las actividades agropecuarias; además de aumentar el riesgo por incendios forestales (Estrada et al., 2016; Márdero et al., 2012, Romero & Alfaro, 2024; UQROO-CIG, 2023).

La mejor comprensión de la variabilidad de la precipitación para el municipio de Tulum ayudaría a aumentar la productividad y eficiencia de la agricultura de la región (Márdero, 2018) sobre todo cuando los agricultores de la región han percibido una reducción en las lluvias (Romero & Alfaro, 2024).

Conclusiones

La aplicación del SPI como herramienta diagnóstica ofrece un método estandarizado y eficiente para la evaluación continua de las condiciones de sequía a través del uso de bases de datos reticuladas. Esta aproximación metodológica tiene el potencial de optimizar los procesos de toma de decisiones en el ámbito agropecuario y ambiental, así como de mejorar significativamente la gestión integral de los recursos hídricos en la zona de estudio.

La localización geográfica de Tulum, y su creciente importancia como destino turístico, subraya la relevancia de comprender la dinámica de los fenómenos climáticos, como la sequía, en la región.

Los resultados presentados permiten evaluar la dinámica temporal de las anomalías negativas de lluvia en el municipio de Tulum utilizando el SPI como una aproximación a las condiciones de la variabilidad de la precipitación en este municipio y lo que aporta en el conocimiento de las implicaciones en la disponibilidad de recursos hídricos, sentando las bases para futuras investigaciones y para el diseño de estrategias de adaptación y mitigación frente a los impactos de la sequía en el municipio de Tulum.

Referencias

- Alley, W. (1984). The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 1100-1109. <https://doi.org/10.1175/1520-0450>
- De Waele, J., Parise, M. & Plan, L. (2011). Geomorphology and natural hazards in karst areas: A review. *Geomorphology*, 134, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.08.001>
- Edwards, D. C., and T. B. McKee. 1997. *Characteristic of 20th century drought in the United States at multiple timescales. Climatology Report No. 97-2. Colorado State University. Fort Collins, Colorado, U.S.A.*
- Escobar, A. (1997). *Las sequías y sus impactos en las sociedades del México decimonónico, 1856-1900. Historia y desastres en América Latina*, Vol. II (pp. 2-24). Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, Volumen II. <http://www.desenredando.org/public/libros/1997/hydv2/hydv2-todosep-09-2002.pdf>
- Estrada-Medina, H., Cobos-Gasca, V., Acosta-Rodríguez, J., Fierro, S. & Morales- Guadarrama, A. (2016). La sequía de la Península de Yucatán. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VII(5), 151-165.
- Estrada Medina, H. & Cobos Gasca, V. (2014). *Programa Nacional contra la sequía PRONACOSE. Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación del Consejo de Cuenca Península de Yucatán, versión 2014*. Universidad Autónoma de Yucatán. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99947/PMPMS_CC_Pen_nsula_de_Yucat_n_R.pdf
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., et al. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2(1), 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- García-Franco, J. L., Chadwick, R., Gray, L. J., Osprey, S., & Adams, D. K. (2023). Revisiting mechanisms of the Mesoamerican Midsummer drought. *Climate Dynamics*, 60(1-2), 549-569. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06338-6>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* 5th ed.; Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía: CDMX, México, 2004; ISBN 970-32-1010-4.
- González-Camacho, J. M., Pérez-Rodríguez, P., & Ruelle, P. (2011). Estimación de índices normalizados de lluvia mediante la distribución gamma generalizada extendida. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 2(4), 65-76. Recuperado en 23 de septiembre de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222011000400005&lng=es&tlng=es.
- Guo, H., Bao, A., Liu, T., Jiapaer, G., Ndayisaba, F., Jiang, L., et al. (2018). Spatial and temporal characteristics of droughts in Central Asia during 1966–2015. *Science of The Total Environment*, 624, 1523-1538. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.120>
- Guttman, N. (1998). Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34, 113-121. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05964.x>
- Hayes, M., Hayes, M., Svoboda, M., Wilhite, D. & Vanyarkho, O. (1999). Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. *Bulletin of The American Meteorological Society*, 80, 429-438. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Hernández Aguilar, M. L., Sánchez Casanova, D., López Montejo, G. D., & Cabrera Guillermo, R. (2022). Monitoreo de la sequía mediante el cálculo del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) a través del uso de geotecnologías. En: *Análisis territorial y el uso de tecnologías geoespaciales* (primera, pp. 39-56). UQROO. <https://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/3993>
- Infante Ramírez, A. M., Arce Ibarra, K. D. (2019). Less Rain and More Heat?: Smallholders' Perception and Climate Change Adaptation Strategies in Tropical Environments. *Sociedad y Ambiente*, (21), 77-97. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455761515004>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#datos-abiertos>
- Liu, C., Yang, C., Yang, Q., & Wang, J. (2021). Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China. *Scientific Reports*, 11(1), 1280. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80527-3>
- Lobato Sánchez, R., & Mejía Estrada, P. I. (2021). Perspectiva sobre la sequía actual en México. *Perspectivas IMTA*, 2(16). <https://doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2021-16>
- Márdero, S., Schmook, B., López-Martínez, J. O., Cicero, L., Radel, C., & Christman, Z. (2018). The Uneven Influence of Climate Trends and Agricultural Policies on Maize Production in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Land*, 7(3), 80. <https://doi.org/10.3390/land7030080>
- Márdero, S., Nickl, E., Schmook, B., Schneider, L., Rogan, J., Christman, Z., et al. (2012). Sequías en el sur de la península de Yucatán: análisis de la variabilidad anual y estacional de la precipitación. *Investigaciones geográficas*, (78), 19-33. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112012000200003&lng=es&tlng=es.
- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. (1995). *Drought monitoring with multiple time scales*. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, Texas, American Meteorological Society: 233-236.
- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston: 179-184.
- Núñez, D., Muñoz-Robles, C., Reyes-Gómez, V., Velasco, I. & Gadsden, H. (2007). Caracterización de la sequía a diversas escalas de tiempo en Chihuahua, México. *Agrociencia*, 41(3), 253-262.
- Orellana, R., Espadas Manrique, C., Conde, C. & Gay García, C. (2009). *Atlas de escenarios de cambio climático en la Península de Yucatán*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2022). *Estado del clima en América Latina y el Caribe - 2021*. Organización Meteorológica Mundial. <https://library.wmo.int/viewer/28347/download?file=1295WMOStateoftheClimateinLAC2021es.pdf&type=pdf&navigator=1>
- OMM. (2012). *Índice Normalizado de Precipitación - Guía del usuario*. <https://www.droughtmanagement.info/literature/WMOstandardizedprecipitationindexuserguidees2012.pdf>
- Perilla, G. A., & Mas, J.-F. (2020). Google Earth Engine (GEE): Una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. *Investigaciones Geográficas*, 0(101). <https://doi.org/10.14350/rig.59929>

- Pyarali, K., Peng, J., Disse, M., & Tuo, Y. (2022). Development and application of high resolution SPEI drought dataset for Central Asia. *Scientific Data*, 9(1), 172. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01279-5>
- Rodríguez Morales, U., Corona Vásquez, B., Prieto González, R., & Martínez Austria, P. (2023). Influence of the AMO and its modulation of the ENSO effects on summer precipitation in Mexican coastal regions. *Water Practice and Technology*, 18(2), 304-319. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.015>
- Romero, D., & Alfaro, E. J. (2024). Spatiotemporal variability of the rainy season in the Yucatan Peninsula. *International Journal of Climatology*, 44(8), 2561-2574. <https://doi.org/10.1002/joc.8468>
- Romero, D., Alfaro, E., Orellana, R., & Hernandez Cerda, M.-E. (2020). Standardized Drought Indices for Pre-Summer Drought Assessment in Tropical Areas. *Atmosphere*, 11(11), 1209. <https://doi.org/10.3390/atmos11111209>
- Strahler, A. and Z. Merali. (2008). *Visualizing physical geography*. Wiley Visualizing y The National Geographic Society.
- UQROO-CIG. (2018). *Atlas Municipal de Riesgo de Tulum 2023*. Universidad de Quintana Roo. Centro de Información Geográfica. Chetumal, Quintana Roo. México.
- Valiente, O. (2001). Sequía: definiciones, tipologías, métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas*, (26), 59-80. <https://doi.org/10.14198/INGEO2001.26.06>
- Velasco, I., Ochoa, L. & Gutiérrez, C. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestion. *Región y sociedad*, 17, 35-71. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sciarttext&pid=S1870-39252005000300002&lng=es&nrm=iso&tlng=es>
- Zhao, Z., & Zhang, X. (2021). Evaluation of methods to detect and quantify the bimodal precipitation over Central America and Mexico. *International Journal of Climatology*, 41, E897-E911.



Eventos hidrometeorológicos extremos y su impacto en el sector agrícola en el municipio de Tomatlán, Jalisco: Caso de estudio huracán Lidia

Extreme hydrometeorological events and their impact on the agricultural sector in the municipality of Tomatlán, Jalisco: Case of study Hurricane Lidia

Mariana Monserrat Núñez Padilla¹
Noemí Itzel López Vargas¹
Edgar Agustín Aguilar Peña²
Julio Cesar Morales Hernández^{3*}
Bartolo Cruz Romero⁴
Abril Guadalupe Quintero Guerrero¹

¹Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara (UdeG), México

²Universidad Europea del Atlántico

³Departamento de Ciencias Exactas, Centro Universitario de la Costa, UdeG, México

⁴Departamento de Ciencias Biológicas, Centro Universitario de la Costa, UdeG, México

*Autor de correspondencia: julio.morales@academicos.udg.mx

Editor encargado: Dr. Oscar Frausto Martínez

Editora invitada: Dra. Ana Cecilia Travieso Bello

Recibido: 19 de agosto de 2024 - Aceptado: 30 de septiembre de 2024

Resumen

Actualmente la manifestación de fenómenos hidrolimáticos extremos, como ciclones tropicales, huracanes, etcétera, están exacerbando peligros y configurando escenarios de desastres naturales que pueden desencadenar otros de origen tecnológico o sanitario; asimismo, tener una incidencia socialmente inducida, lo cual los convierte en amenazas socionaturales, como el caso del calentamiento global. Uno de los sectores económicos que con mayor severidad es impactado por estos desastres es la agricultura. Sus elementos son vulnerables a la acción de fenómenos naturales, tales como vientos, lluvias, temperaturas extremas, inundaciones, sequías, entre otros. Sin embargo, la agricultura no recibe la atención que debería en cuanto a las tareas de reducción del riesgo de desastres. En el 2023, ocurrió uno de los eventos meteorológicos extremos, el huracán Lidia, que generó una gran suma de pérdidas y desastres en las costas de Jalisco; entre estas localidades, el municipio de Tomatlán, que se encuentra al oeste del estado, fue el punto de impacto del huracán. El objetivo del presente trabajo es analizar las pérdidas económicas y sociales ocasionadas por el huracán Lidia en el municipio de Tomatlán, las cuales posibilitan la ocurrencia de afectaciones a la producción de alimentos y la seguridad alimentaria. Durante el huracán Lidia se reportó una pérdida económica principalmente en los cultivos de maíz y plátano mayor a \$150 000 pesos por hectárea, ocasionando no solo afectación a la siembra, sino también a los mismos productores resilientes, quienes ya habían experimentado este tipo de eventos hidrometeorológicos. La dependencia de sus sistemas de producción por el comportamiento de la lluvia y la vulnerabilidad en la que se encuentra su zona de cultivo les confieren incertidumbre, tanto al sector primario como a la integridad del agricultor y su familia.

Palabras clave: Fenómenos hidrometeorológicos, Sistemas socioecológicos, Riesgos ambientales

Abstract

Currently, the manifestation of extreme hydro-climatic phenomena, such as tropical cyclones, hurricanes, etc., are exacerbating hazards and configuring natural disaster scenarios that can trigger others of technological or sanitary origin. They can also have a socially induced impact, which turns them into socio-natural hazards, as in the case of global warming. One of the economic sectors most severely impacted by these disasters is agriculture. Its elements are vulnerable to the action of natural phenomena such as winds, rain, extreme temperatures, floods, droughts, among others. However, agriculture does not receive the attention it should in terms of disaster risk reduction. In 2023, one of the extreme meteorological events occurred, Hurricane Lidia, which generated a large sum of losses and disasters in the coasts of Jalisco, being among these localities, the municipality of Tomatlán, found in the west of the state, which was the point of impact of the hurricane. The objective of this paper is to analyze the economic and social losses caused by Hurricane Lidia in the municipality of Tomatlán, which made it possible for food production and food security to be affected. During Hurricane Lidia, an economic loss was reported, mainly in corn and banana crops greater than \$150 000 pesos per hectare, affecting not only the crops, but also the resilient producers themselves, who had already experienced this type of hydrometeorological event. The dependence of their production systems on the behavior of rainfall and the vulnerability of their cultivation area make both the primary sector and the integrity of the farmer and his family uncertain.

Keywords: Hydrometeorological phenomena, Socio-ecological systems, Environmental risks

Introducción

Los eventos climáticos son fenómenos naturales que se producen por distintos factores, ya sea por influencia del mar, viento de la zona geográfica y muchos otros que, en conjunto, generan lo que se conoce como eventos hidrometeorológicos extremos; dichos eventos pueden ser formados por factores atmosféricos que llegan a provocar ciclones tropicales (CT), huracanes, tormentas torrenciales, inundaciones y deslizamientos de terreno (Sánchez et al., 2011).

A lo largo de los años, se ha registrado cómo los distintos fenómenos climáticos han impactado y afectado a las personas y su entorno, llevando consigo una gran variedad de pérdidas de vidas humanas, estructurales y económicas.

Una de las ramas de la economía que con mayor severidad es impactada por los desastres es la agricultura. Los elementos de la agricultura son vulnerables a la acción de fenómenos naturales, tales como vientos, lluvias, temperaturas extremas, inundaciones, sequías, entre otros. Sin embargo, la agricultura no recibe la atención que debería en cuanto a las tareas de reducción del riesgo de desastres (Sálmon, 2020).

Al abordar los eventos extremos como riesgos, se introduce una nueva perspectiva. La gestión del riesgo, según el PNUD (2012), consiste en un proceso sistemático y colaborativo para disminuir la vulnerabilidad de comunidades, regiones o países ante desastres. Este enfoque combina esfuerzos locales, regionales y nacionales, y se alinea con los objetivos del desarrollo sostenible.

A causa del cambio climático, se ha generado un desbalance en los ciclos hidrológicos, lo que ha originado una variedad de distintos fenómenos hidrometeorológicos

que han ocasionado desastres que alteran varios factores ambientales, como la temperatura, presión, humedad, pH, entre otros, llegando a influir en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, con posibles afectaciones en la agricultura. Tal situación los considera como amenazas de gran importancia a nivel mundial para el sector agrícola, ya que los desastres que pueden generarse con estos fenómenos son independientes a la exposición a estos mismos fenómenos naturales extremos (SEMARNAT, 2021).

En México, los ciclones tropicales ocurren frecuentemente durante ciertas temporadas, dejando a su paso un gran número de afectaciones y pérdidas, tanto en la parte del Golfo de México como en la del Océano Pacífico, por lo cual es considerado como un país en riesgo ante eventos extremos (Gómez, 2001); además, se han registrado distintos desastres climatológicos como las tormentas tropicales, huracanes, así como sequías, que han marcado a las poblaciones humanas y a sus actividades económicas productivas. Para el estado de Jalisco, se han presentado constantemente estos fenómenos en temporadas definidas en verano (junio a septiembre), que es cuando se presenta la temporada de lluvias. Este periodo es el más propenso a estos fenómenos hidrometeorológicos (SEMARNAT, 2021).

Debido a la ubicación geográfica en la que se encuentran la mayoría de las zonas urbanas en desarrollo cerca de la línea costera de nuestra región, estas pueden localizarse en un área altamente vulnerable a distintos eventos naturales como los hidrometeorológicos, siendo uno de ellos los huracanes. En particular, las zonas mayormente sensibles son las más cercanas a las líneas de playa y las edificaciones con una pobre estructura, independientemente de que se encuentren costa adentro (Bitrán et al., 2003). Un ejemplo de zona

costera en desarrollo es la de Jalisco, la cual cuenta con una diversidad biológica y paisajística que la hacen un destino turístico de talla internacional, como Puerto Vallarta, que ofrece un concepto de sol y playa con zonas potencialmente desarrollables, cuenta con mar y sierra proveniente de Cabo Corrientes, convirtiéndola en una atracción para el turismo natural o *eco-friendly*, o turismo asociado a la naturaleza y de bajo impacto.

Por su alta demanda de recursos, Tomatlán es uno de los principales exportadores agrícolas de la región (Gauna et al., 2019); sin embargo, sigue encontrándose en una zona expuesta a los eventos naturales antes mencionados y que no solo llega a perjudicar su territorio, de ser afectado, sino también a quienes provee.

Dado que Jalisco se encuentra en la región oeste de México, colindando con el Océano Pacífico, al norte de Nayarit y al sur de Colima, provoca que sus municipios costeros se vuelvan frecuentemente susceptibles ante los CT. De hecho, en México se registran alrededor de 22 CT por año en sus litorales del Océano Pacífico (Morales et al., 2013); no obstante, esto no asegura que todos los ciclones lleguen a tocar tierra.

Dentro del presente trabajo, se llevó a cabo un análisis de las afectaciones de los CT para el municipio de Tomatlán, que es de suma importancia debido al crecimiento agrícola y turístico que dicha región genera. Asimismo, Jalisco es un estado propenso a la llegada de CT, por lo tanto, es de alto interés que los municipios costeros tengan una buena adaptación ante la llegada de estos fenómenos hidrometeorológicos. La presente investigación es innovadora en el sector, ya que no existen trabajos de investigación de esta índole en todo el municipio de Tomatlán y, a su vez, representa información útil para la toma de decisiones.

Materiales y métodos

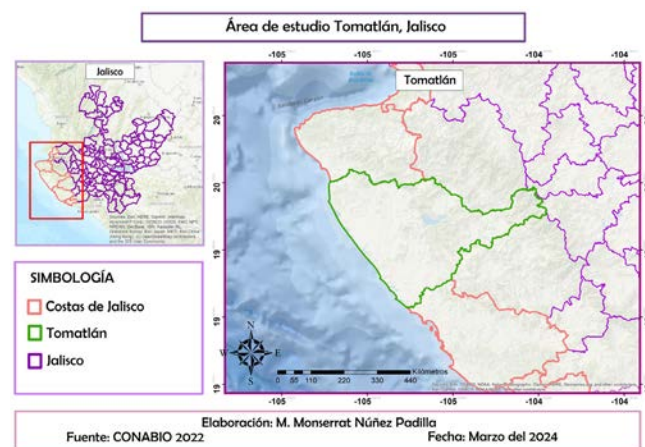
Área de estudio

El estado de Jalisco cuenta con relieves que van desde los cero metros sobre el nivel del mar (msnm), hasta los 2850 msnm de altura (INEGI, 2012). Presenta una gran variedad de fenómenos climáticos, tiene una temperatura máxima promedio en mayo de 23.0 °C y una temperatura mínima promedio de 7.0 °C en los meses de diciembre y enero. Entre los meses de verano, de junio a septiembre, es cuando se presenta la temporada de lluvia, registrando a julio como el más lluvioso (INEGI, 2012).

La región Costa de Jalisco tiene una superficie de 1 451 465.85 hectáreas, que corresponden al 17.5 % del territorio estatal e incluye los municipios: Puerto Vallarta, Cabo Corrientes, Tomatlán, La Huerta, Cihuatlán, Talpa de Allende, Purificación, Casimiro Castillo, Cuautitlán y Autlán. (SEMARNAT, 1999). El municipio de Tomatlán forma parte

de estas costas. Está localizado al oeste del estado, con una extensión territorial de 2 657.5 km² representando el 3.32 % de la superficie total de Jalisco. En cuanto a su relieve, tiene alturas que van desde los 200 msnm a los 1100 msnm, un litoral de aproximadamente 75 km, y una topografía con altitudes de los 600 a los 2100 metros conformada por la Sierra Volcánica Transversal. Su clima es semiseco y cálido sin una estación invernal definida. La temperatura media anual es de 26.9 °C con una precipitación media anual de 892.2 milímetros con régimen de lluvia entre junio y octubre y vientos dominantes en dirección sur (Espinoza et al., 2015) (Figura 1).

Figura 1. Área de estudio de las costas de Jalisco y el municipio de Tomatlán



Fuente: INEGI (2024). CONABIO

Recopilación de datos

Para la obtención de datos, se inició con la recopilación de información sobre los huracanes que han impactado en las costas de Jalisco, además del huracán Lidia 2023 para su caracterización; posterior a eso, se utilizó la base de datos National Hurricane Center Tropical Cyclone Report (NHC) y de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Con el uso del programa especializado ArcGis 10.3 se elaboró un mapa cartográfico de la trayectoria del huracán y las zonas de riesgo en el estado de Jalisco y el municipio de Tomatlán.

Análisis de datos

La cartografía se elaboró con la base de datos de los estados y municipios de México en Shapefile de CONABIO y la base de datos de la trayectoria del huracán Lidia en el mismo formato de NHC en el programa especializado ArcGis 10.3 para su caracterización, en la que se menciona

su categoría de impacto Saffir-Simpson, el punto de entrada, la franja de afectación y los daños estructurales, como las pérdidas económicas y de vidas humanas, además de elaborar la cartografía sobre las zonas de riesgo y peligro en Tomatlán utilizando la base de datos de CONABIO. Posterior a eso, se realizó un análisis del impacto socioeconómico de daños por huracanes en el municipio de Tomatlán.

Análisis cualitativo

La recopilación de datos sobre las pérdidas ocasionadas por el huracán Lidia se obtuvo con la aplicación de encuestas con preguntas cualitativas y cuantitativas aplicadas de forma directa con la población de la localidad de Tomatlán, mediante un muestreo por conveniencia, con preguntas enfocadas en el sector agrícola, el conocimiento sobre riesgos y peligros, y sobre su situación social y económica.

Resultados

Para la redacción del presente análisis, se describieron los resultados obtenidos de la caracterización de los análisis de los CT en el Pacífico mexicano, cuyo periodo de estudio fue de 2000 a 2023, generada por las afectaciones provocadas por los eventos hidrometeorológicos en nuestra área de estudio. La caracterización se describió en dos partes: a) seguimiento cronológico de la trayectoria de los CT, y b) las afectaciones provocadas por dichos eventos.

Durante los 23 años de estudios que se realizaron en esta investigación, como se observa en la **Figura 2**, se identificaron seis CT que afectaron directa o indirectamente el municipio de Tomatlán; los sistemas que afectaron

directamente son: Kenna (2002), Jova (2011), Patricia (2015), Narda (2019), Nora (2021) y Lidia (2023), como caso de estudio.

Entre algunos eventos que han impactado o causado algún daño a las costas de Jalisco, se puede encontrar el huracán Kenna, el cual inició como depresión tropical el 21 de octubre el 2002, pasando a tormenta tropical el 22 del mismo mes, y a categoría 2 al día siguiente. Alcanzó la categoría 5 cuando pasaba al suroeste de Cabo Corrientes, Jalisco, finalmente, impactó al oeste de San Blas, Nayarit. Este acercamiento a las costas de Jalisco generó una gran suma de pérdidas. En lo económico, hubo una pérdida de 329. 5 millones de pesos en daños totales con un aproximado de 151 452 personas afectadas. En la agricultura, se estimó una afectación de 71 hectáreas (en Tomatlán 75 % de las hectáreas afectadas) (NHC, 2024).

El huracán Jova en 2011, impactó en Barra de Navidad, Cihuatlán en Jalisco, siendo de categoría dos en la escala de Saffir – Simpson, con una franja de afectación de Cihuatlán, La Huerta, Villa Purificación, Autlán y Cuautitlán, se registraron nueve muertes y un aproximado de 6000 viviendas afectadas (NHC, 2024).

Por su parte, el huracán Patricia en el 2015 impactó en la playa Cuixmala, La Huerta en Jalisco, con una categoría de impacto en la escala de Saffir – Simpson 4, produjo grandes daños a lo largo de la costa, destruyó más de 10 000 viviendas, y un aproximado de 40 469 hectáreas de tierras agrícolas que resultaron gravemente afectadas, teniendo como principal pérdida los cultivos de papaya y plátano (NHC, 2024).

La tormenta tropical Narda en el 2019 impactó en Cuautitlán García de Barragán, con una franja de afectación que va desde Villa Purificación, Tomatlán y Puerto Vallarta, con pérdidas de 628 viviendas, más de 214 millones de pesos en carreteras y puentes, y dos fallecidos (NHC, 2024).

El huracán Nora en 2021 impactó en Tomatlán, Jalisco, con una categoría en la escala de Saffir – Simpson de 1, con una franja de afectación que abarcó además a Cabo Corrientes y Puerto Vallarta, generó pérdidas de 6451 viviendas y un aproximado de 874.90 millones de pesos en daños. En cuanto a la agricultura, se generaron pérdidas en cultivos en varias comunidades de Tomatlán y en Cabo Corrientes; de acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) hubo un total de pérdidas de 90 hectáreas de maíz, 3380 hectáreas de plátano, 1500 hectáreas de chile, 75 hectáreas de limón, 80 hectáreas de piña, 500 hectáreas de mango y 280 hectáreas de papaya (NHC, 2024).

Caso de estudio

El huracán Lidia en el 2023 con categoría de impacto Saffir - Simpson: 4 registró el impacto cerca de Las Peñitas, Tomatlán, Jalisco, afectando directa e indirectamente: Tomatlán, Cabo Corrientes, Puerto Vallarta, La Huerta, Cihuatlán, Cuautitlán de García Barragán, Mascota, entre

Figura 2. Trayectoria de los ciclones tropicales que afectaron la región de estudio



Fuente: NHC (2024)

otros. De acuerdo con los reportes de daños se contó con varias pérdidas económicas y estructurales, con un aproximado de 3600 viviendas, pérdida de electricidad y comunicación en los días posteriores y un estimado de 77.6 millones de dólares según el gobernador estatal. De igual forma, dos personas perdieron la vida durante el paso del fenómeno (NHC, 2024) (Figura 3).

Figura 3. La trayectoria del huracán Lidia con sus distintas categorías según la escala de Saffir – Simpson



Fuente: NHC (2024)

En cuanto a la agricultura en el estado de Jalisco, se cuenta con 8 013 700 hectáreas, de las cuales 1 721 153 (21 %) son utilizadas en la agricultura. De este último, el 83 % se utiliza en condiciones de temporada, y el 17 % bajo condiciones de riego. Este estado ha llegado a producir hasta 175 989 millones de pesos con un aproximado de 41 065 000 toneladas produciendo un 25 % del alimento consumido en el país. La agricultura en Tomatlán abarca 35 206 hectáreas, lo que equivale a un 30.2 % de la cobertura del suelo (Espinoza et al., 2015), tiene como principales cultivos el sorgo, trigo, plátano, papaya, limón, piña, mango, sandía, arroz, tomate, tamarindo, chile, entre otros (Gobierno del Estado de Jalisco, 2022).

Para el municipio de Tomatlán no existe información sobre los efectos, el costo y las pérdidas económicas y agrícolas a grandes rasgos. Por tal motivo, este trabajo es un punto de partida importante para futuras investigaciones, y un censo sobre el conocimiento de las personas acerca del riesgo y peligro que corren ante este tipo de fenómenos hidrometeorológicos extremos.

De acuerdo con CENAPRED (2021), en el estado de Jalisco se han hecho análisis de las zonas con mayor tendencia a riesgos de sufrir daños por ciclones, de los cuales se desprende que los más vulnerables son los cercanos a la costa: en un nivel alto de riesgo están Cihuatlán y La

Huerta; en un nivel medio de riesgo, Puerto Vallarta, Cabo Corrientes y Tomatlán; y en los niveles bajos y muy bajos se encuentra el resto de los municipios; por lo tanto, Tomatlán se encuentra en una zona donde el riesgo de sufrir daños por ciclones tropicales es media.

Análisis cualitativo

La agricultura es un sector fundamental y altamente vulnerable a los impactos que afectan a la población; los análisis de vulnerabilidad han tendido a centrarse predominantemente en las personas. Se ha pasado por alto la fragilidad de los sistemas agrícolas, que incluyen desde comunidades rurales y trabajadores hasta maquinaria, infraestructura y el entorno natural, los cuales están expuestos a diversos riesgos y carecen de la atención y preparación adecuadas.

En los resultados se exploraron las experiencias y percepción que tuvieron las personas que se dedican a la agricultura en Tomatlán con el huracán Lidia, y sus percepciones sobre los eventos extremos, y cómo estas se relacionan con el manejo de la agricultura, su seguridad alimentaria, política pública y factores sociodemográficos (Figura 4).

Figura 4. Percepción de los pobladores en el municipio de Tomatlán, Jalisco



Fuente: fotografía de Julio Cesar Morales

Se realizaron siete entrevistas con personas clave dentro del municipio, los cuales aportaron información sobre perspectivas de los ciclones tropicales; entre los principales resultados podemos observar que los eventos que con mayor frecuencia afectaron al municipio de Tomatlán son principalmente los huracanes Lidia (2023), Nora (2021) Patricia (2015)), los cuales coinciden con lo reportado

en el análisis, y las lluvias extremas de temporada, que en ocasiones afectan a los cultivos por inundaciones y efectos del viento.

Pérdidas económicas

Posteriormente, con el grupo de los participantes en este estudio, se consultó sobre la percepción de las pérdidas económicas en el sector agrícola. En la **Figura 5** se puede apreciar que las pérdidas económicas por hectárea fueron arriba de \$150 000 pesos. Todos sufrieron afectaciones en sus cultivos, algunos con mayores pérdidas en comparación con otros, también mencionaron que el problema del coyotismo continúa afectando en sus ingresos y en la producción.

Figura 5. Percepción de las pérdidas económicas de los actores clave del sector agrícola en Tomatlán

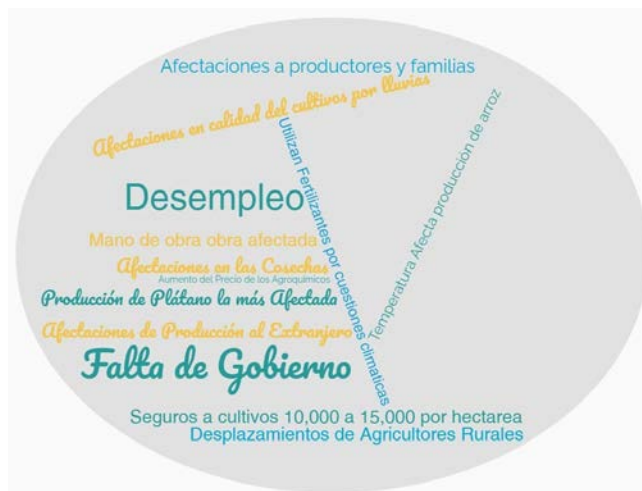


Fuente: entrevistas a los participantes del estudio

Seguridad alimentaria

En el tema de seguridad alimentaria, los agricultores mencionan que en la región no tienen apoyo por parte del gobierno, que desde que se terminó el banco agrario los ingresos son mínimos; para las personas que desean conseguir seguros, el precio oscila entre \$10 000 y \$15 000 pesos por hectárea, que la producción de plátano y maíz es la que ha sido afectada, el comportamiento de las lluvias en los últimos años ha modificado a las abejas en la polinización y ahora tienen que rentar abejas para que polinicen los cultivos; además, también refieren que muchos agricultores rurales han sido desplazados por los monocultivos y los coyotes que se aprovechan del precio en muchos productos (**Figura 6**).

Figura 6. Percepción de la seguridad alimentaria de los actores clave del sector agrícola en Tomatlán



Fuente: entrevistas a los participantes del estudio

Salud y bienestar

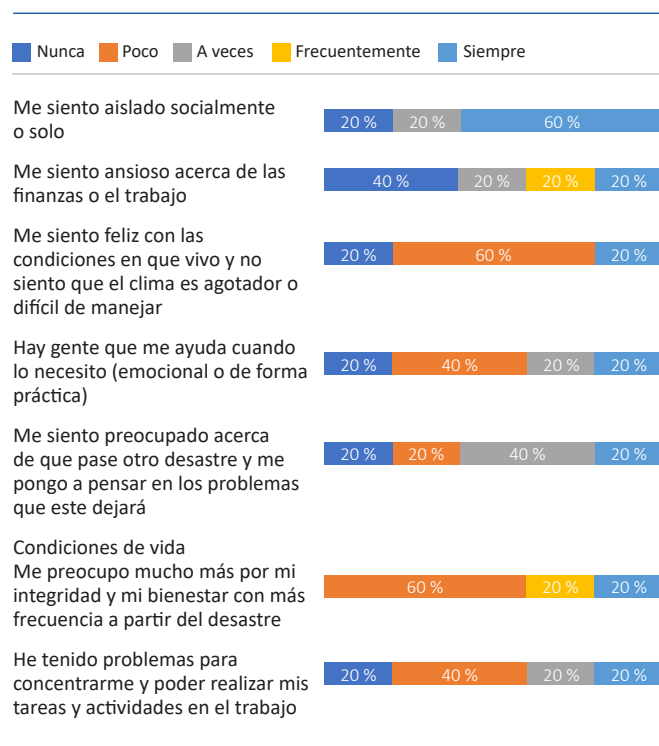
Al preguntarles a las personas cómo se sienten psicológicamente en el tema de salud y bienestar después de los eventos extremos, estos validan su vulnerabilidad ante los efectos relacionados a estos eventos hidrometeorológicos. El 60 % de los encuestados mencionan que después de un evento natural se sienten solos y aislados, mientras que al 20 % no les afecta en nada y muestran una postura firme. Al consultar si la ansiedad les ha afectado en algún momento, el 40 % no mostró evidencias, solo algunos llegan a sentir este factor, pero no es algo que les influye.

Al preguntarles sobre el nivel de felicidad con respecto a la vida que llevan, mencionaron que han estado acostumbrados a esa vida, con el paso de generaciones, y no les afecta emocionalmente, pero sí dan cuenta de que observan algún cambio en el comportamiento de sus cónyuges e hijos. Por otro lado, refieren que no es difícil manejar el clima. Al preguntarles acerca del apoyo emocional que reciben en caso de un evento extraordinario, mencionan que el 60 % nunca o muy poco han recibido atención psicológica. Su principal apoyo es por parte de familiares y amigos, por lo cual es un tema que tendría que priorizarse (**Figura 7**).

Finalmente, interpretamos lo recolectado por parte de los agricultores donde mencionan que las cooperativas y la cohesión comunitaria en el sector agrícola son fundamentales para hacer frente a los eventos naturales extremos. Sin embargo, existen desafíos importantes que deben abordarse, como la falta de recursos y la desigualdad social. Es necesario fortalecer las capacidades de las comunidades a través de la capacitación, la inversión en infraestructura y la promoción

de prácticas agrícolas sostenibles. Las comunidades agrícolas han demostrado una gran capacidad de resiliencia ante los eventos extremos, gracias a la solidaridad y cooperación entre sus miembros. No obstante, es necesario mejorar los sistemas de alerta temprana y fortalecer la coordinación entre los diferentes actores involucrados en la gestión de riesgos

Figura 7. Percepción de los agricultores en el tema de salud y bienestar ante eventos extremos



Fuente: cuestionario aplicado en la encuesta

Discusión y conclusiones

Se han realizado numerosos estudios sobre los aspectos meteorológicos y físicos de los huracanes. El impacto significativo que estos fenómenos tienen en los ecosistemas ha sido reconocido solo recientemente (Hernández, 2020). La agricultura, especialmente en esta región, sufre pérdidas considerables debido a los huracanes, con estimaciones de disminución en las exportaciones que oscilan entre un 18 y un 80 % (Morris et al., 2002).

El presente trabajo coincide con lo reportado por Viera (2022), quien menciona que los cultivos de plátano y maíz, que son especies muy sensibles a los vientos, expresan mayor vulnerabilidad en sistemas de cultivo especializados (unicultivo) y el manejo del plantón no está bien estructurado con sucesores de diferentes edades.

En la región de estudio, se identificaron pérdidas en cultivos anuales (como papaya, sandía, tomate y chile), así como pérdidas y reducción en la producción de cultivos perennes (como mango, coco y tamarindo); esto provocó pérdidas económicas muy graves para el sector agrícola.

La agricultura de temporal es un sistema de producción que depende del comportamiento de las lluvias durante el ciclo de producción y de la capacidad del suelo para captar el agua y conservar la humedad. Estas particularidades le confieren incertidumbre en sus resultados y se prevé que los efectos de los ciclones tropicales en la producción de temporal incrementen más esta incertidumbre.

Por lo anterior, si los pronósticos sobre los efectos ocasionados por los eventos de tipo hidrometeorológicos resultan ciertos, la necesidad de impulsar innovaciones o procesos tecnológicos como la labranza de conservación, la construcción de pequeñas obras de captación de agua, la incorporación de materia orgánica con composta y lombricomposta, entre otras alternativas, serán prácticas y acciones impostergables que permitirán incrementar la productividad agrícola, o por lo menos conservar el nivel actual de la producción en condiciones de temporal.

La información recabada permite decir que Tomatlán es una comunidad agrícola costera frágil ante la presencia de huracanes; sin embargo, como relatan sus propios habitantes, tienen diversos mecanismos para recuperarse después de sufrir el impacto de un huracán. Esto significa que, aunque son vulnerables, también tienen resiliencia o capacidad de recuperación. Pero si las acciones y medidas como parte de la reconstrucción de una comunidad reproducen condiciones de riesgo, entonces la capacidad de recuperación puede ser insuficiente para responder a las situaciones de desastres originados por fenómenos naturales, como los huracanes.

Referencias

- Bitrán, D., Domínguez, L., Durán, R., Fuentes, O., García, N., Jiménez, M., et al. (2003). Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2002. *Serie. Impacto socioeconómico de los desastres en México*.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2021). Atlas Nacional de Riesgos. Sitio web: <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/>, En: Méndez, K., García, N., Marín, R., Reyes, R., Franco, E. & Olmedo, C. (eds.). *Base de datos estatal sobre el impacto socioeconómico de los desastres, Subdirección de Estudios Económicos y Sociales*, (Información restringida a actores estratégicos del Sistema Nacional de Protección Civil).
- Espinoza-Sánchez, R., Téllez-López, J., Chávez-Dagostino, R. M., Andrade-Romo, E. & Cornejo-Ortega, J. L. (2015). *Tomatlán a Futuro. Edificando el porvenir 2012 - 2040*. Universidad de Guadalajara, 29 - 35.

- Gauna Ruiz de León, C., Vargas Muñoz, R. E., y Virgen Aguilar, C. R. (2019). La Costa de Jalisco: Análisis sociodemográfico, económico y turístico. En: J. C. Morales Hernández, y B. Cruz Romero. *Caracterización de la Costa de Jalisco: Relación con la variabilidad climática, cambio de uso de suelo y aspectos socioeconómicos* (págs. 01-169). E-dae.
- Gobierno del Estado de Jalisco. (2022). *Tomatlán. Gobierno del Estado de Jalisco*. Sitio Web: <https://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/municipios/tomatlan>
- Gómez, J. (2001). *Vulnerabilidad y medio ambiente*, CEPAL, Santiago, Chile, pp. 1-36.
- Hernández, A. (2020). *Estimación de daños en zonas urbanas por los pasos de las tormentas: Eta-Iota por Honduras*. Reporte sobre métodos y resultados.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. (2012). *Clima de Jalisco. Gobierno de México*. Sitio Web: <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/territorio/clima>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. (2012). *Relieve Jalisco. Gobierno de México*. Sitio Web: <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/territorio/relieve.aspx?tema=me&e=14>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, (2024). *'AGEM Área Geoestadística Municipal', escala: 1:250000*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, Ciudad de México.
- IPCC, Climate change (2001). Impacts, adaptation and vulnerability. *Third assessment report of the IPCC, World Meteorological Organization (WMO), United Nations Environment Programme (UNEP)*. pp. 1-17.
- Morales Hernández, J. C., Farfán Molina, L. M., Carrillo González, F. M., Cornejo López, V. M., y Téllez López, J. (2013). Influencia de los ciclones tropicales del periodo de 1970 al 2010 en la región de Bahía de Banderas, Nayarit-Jalisco, México. *Investigación y Ciencia*, 21(59), 13-24.
- Morris, S. S., Neidecker-Gonzales, O., Carletto, C., Munguia, M., Medina, J. M. y Wodon, Q. (2002). Hurricane Mitch and the Livelihoods of the Rural Poor in Honduras. *World Development*, 30(1), 49-60.
- NHC (National Hurricane Center and Central Pacific Hurricane Center). (2024). *Eastern Pacific Hurricane Season. National Oceanic and Atmospheric Administration*. Sitio Web: <https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/index.php?season=2017&basin=epac>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) Chile. (2012). *Conceptos Generales sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Contexto del País. Experiencias y Herramientas de aplicación a nivel regional y local*. Sitio web: https://www.undp.org/content/dam/chile/docs/Prevencion_recup_crisis/undp_cl_prevencion_portada_catalogo_conceptos_2012.pdf
- Sálmon-Cuspinera, Y. Z. (2020). Impactos y riesgos de los eventos climáticos extremos en el sector agrícola de la provincia Santiago de Cuba, Cuba. *Ciencia en su PC*, 1, 99-112.
- Sánchez-Núñez, J. M., Serrano-Flores, M. E., Sangermán-Jarquín, D. M., Navarro-Bravo, A., Vera-Alejandre, G. R., Cuevas-Sánchez, J., et al. (2011). Eventos hidrometeorológicos extremos y desastres en comunidades rurales y urbanas en Motozintla, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(2), 167 – 181. Sitio Web: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000800001
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (1999). *Ordenamiento Ecológico de la Región Costa de Jalisco*. Instituto Nacional de Ecología. Sitio Web: https://siga.jalisco.gob.mx/moet/assets/pdf/Acuerdo_Ord_Costa.pdf
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2021). *Impacto del Cambio Climático en México. México ante el Cambio Climático*. Sitio Web: <https://cambioclimatico.gob.mx/impactos-del-cambio-climatico-en-mexico/>



Caracterización espacial de la contaminación atmosférica en Tulum, Quintana Roo

Spatial characterization of air pollution in Tulum, Quintana Roo

Norma Angélica Oropeza García^{1*}
María Luisa Hernández Aguilar¹
Gerardo Daniel López Montejó¹
Bonnie Lucía Campos Cámara²

¹División de Ciencias, Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, Chetumal, México

²División de Ciencias Políticas y Económicas, Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, Chetumal, México

*Autora de correspondencia: noropeza@uqroo.edu.mx

Editor encargado: Dr. Oscar Frausto Martínez

Editora invitada: Dra. Ana Cecilia Travieso Bello

Recibido: 19 de agosto de 2024 - Aceptado: 30 de septiembre de 2024

Resumen

Tulum, ubicado en el Caribe mexicano en el estado de Quintana Roo, es uno de los puntos turísticos con mayor auge económico en la actualidad y también un polo de desarrollo regional asociado a los proyectos impulsados por el gobierno mexicano, que incluyen el Tren Maya y el Aeropuerto Internacional de Tulum, así como la infraestructura asociada a los mismos. Sin embargo, en esta zona se presenta deforestación, incendios forestales, elevada generación de residuos sólidos, y su quema a cielo abierto, emisiones de vehículos propulsados por combustibles fósiles, entre otros, las cuales son causas del cambio climático y otras que son su consecuencia, como arribazones de sargazo a sus costas. La mayoría de estos impactos ambientales asociados al desarrollo regional son fácilmente perceptibles por los pobladores y turistas, pero la calidad del aire y el nivel de contaminación atmosférica no son tan evidentes. El presente trabajo tiene como objetivo mostrar los niveles de los contaminantes atmosféricos monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), aerosoles y vapor de agua (H₂O) como gas de efecto invernadero, para el periodo 2018 a 2023 en el municipio de Tulum, obtenidos a partir de imágenes de satélite y herramientas de geoprocetamiento.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, GYCEI, Cambio climático, Caribe mexicano

Abstract

Tulum, located in the Mexican Caribbean in the state of Quintana Roo, is one of the tourist spots with the greatest economic boom today and also a hub of regional development associated with projects promoted by the Mexican government that include the Mayan Train and the Tulum International Airport, as well as the infrastructure associated to them. However, this region presents deforestation, forest fires, high generation rates of solid wastes, and their open burning, emissions from vehicles powered by fossil fuels, among others, which are causes of climate change and others that are its consequence, like arrivals of sargassum on its shores. Most of these environmental impacts associated with regional development are easily perceptible by residents and tourists, but the quality of the air and the level of atmospheric pollution are not so evident. The objective of this work is to show the levels of atmospheric pollutants carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO₂), sulfur dioxide (SO₂), aerosols and water vapor (H₂O), for the period 2018-2023, in the municipality of Tulum, obtained from satellite images and geo-processing tools.

Keywords: Air pollution, GHG, Climate Change, Mexican Caribbean

Introducción

El turismo en México es uno de los pilares de crecimiento económico; a nivel nacional, Quintana Roo es el estado con mayor número de turistas recibidos y Tulum es uno de los atractivos turísticos más importantes del estado. En lengua maya, Tulum significa “muralla”. Fue nombrado pueblo mágico en 2015 y actualmente es uno de los cuatro pueblos mágicos de Quintana Roo. Un pueblo mágico tiene características propias del sitio que le dan una identidad nacional, entre las que se incluyen símbolos, leyendas o escenarios que fueron importantes para primeras culturas o a través del desarrollo histórico de México. En el caso de Tulum, el lugar es único pues cuenta con una zona arqueológica situada en la costa del Mar Caribe y para la cultura maya fue un puerto muy importante utilizado hace 1500 años; además, es la puerta de entrada a la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an declarado Patrimonio Mundial de la Humanidad por la UNESCO desde 1987 (SECTUR, 2020).

La ciudad de Tulum, ubicada en el Caribe Mexicano, es la de mayor crecimiento poblacional a nivel nacional debido a la gran cantidad de inmigrantes que son atraídos por el auge económico de la zona (INEGI, 2020). En Tulum, como en gran parte de América Latina y el Caribe, el cambio de uso de suelo y la deforestación, causados por los procesos de urbanización, son las principales causas de la fragmentación de los ecosistemas, así como de la degradación física y química del ambiente. De esta forma, la tala de selvas y humedales para la construcción de infraestructura turística, urbana y de transporte, libera el carbono almacenado, y por otro lado reduce la capacidad de estos ecosistemas para absorber las emisiones de la atmósfera al disminuir la cobertura vegetal. Aunado a esto, el incremento en la población y la demanda de servicios de una ciudad en crecimiento eleva la utilización de combustibles fósiles, y se emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero que actúan reteniendo el calor del sol en la tierra, contribuyendo al calentamiento global y al cambio climático (UN, 2022). Entre los principales gases y compuestos de efecto invernadero (GYCEI) se encuentran el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el ozono (O_3) troposférico, el óxido nitroso (N_2O) y los compuestos halogenados (CFC, HCFC, HFC, SF_6 y NF_3).

El presente artículo tiene como principal objetivo mostrar los niveles de los contaminantes atmosféricos monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), aerosoles y vapor de agua (H_2O), por su potencial como gas de efecto invernadero, para el periodo 2018 a 2023 en el municipio de Tulum, obtenidos a partir de herramientas de geoprocetamiento mediante el uso de imágenes de satélite, la herramienta Google Earth y los programas SNAO, ArcMap y QGIS.

Marco teórico

La ciudad de Tulum cuenta con una población concentrada al interior; se observa claramente un crecimiento urbano expansivo como resultado de la migración atraída por las fuentes de trabajo generadas por el turismo en su modalidad de sol y playa, principal actividad económica en la ciudad; la densidad de población para la zona se estima en 27 hab/Ha. En la zona operan empresas transnacionales que detonan la expansión territorial y la competitividad con otros destinos llevando a un desarrollo inequitativo en términos de crecimiento económico al interior del municipio de Tulum.

El transporte de turistas, trabajadores y habitantes de la zona en Tulum se observa como parte del corredor que representa la carretera federal 307 y, como es bien sabido en la zona, la carretera es un detonador de crecimiento del corredor turístico de norte a sur partiendo del aeropuerto internacional de Cancún, punto de llegada de la mayor parte del turismo de la región. La autopista federal 307 es la única vía terrestre que conecta los distintos sitios turísticos con los poblados aledaños a Tulum.

Como consecuencia de este crecimiento económico y demográfico, la contaminación atmosférica en urbanizaciones costeras es un problema importante que afecta el ambiente y la salud humana. Por su localización y tipo de actividades económicas, estas zonas están expuestas a diversas fuentes de contaminación, como actividades turísticas, tráfico vehicular y actividades en puertos y marinas, entre otras. De forma general, los contaminantes atmosféricos pueden clasificarse en primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son vertidos directamente a la atmósfera, mientras que los secundarios se forman como resultado de las reacciones químicas de los contaminantes primarios.

Entre las emisiones de gases contaminantes causadas por actividades humanas están las emisiones del tráfico vehicular, especialmente en ciudades con alta densidad de población y receptoras de turismo de masas, las cuales son una de las principales fuentes de NO_2 y CO (OMS, 2016). En el caso de las operaciones en puertos y la actividad industrial, se liberan grandes cantidades de SO_2 y material particulado ($\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10}) en el aire. En la literatura se ha documentado que los puertos contribuyen significativamente a la contaminación atmosférica en áreas urbanas costeras debido al uso de combustibles fósiles de baja calidad en los barcos (Eyring et al., 2010). En ciudades costeras, el turismo también contribuye a la contaminación del aire a través del aumento de la demanda de transporte y la generación de residuos (Gössling, 2013). Diferentes estudios en áreas urbanas costeras han demostrado una correlación directa entre la contaminación del aire y un incremento en las tasas de hospitalización por asma (Bell et al., 2014). Por otro lado, la deposición de contaminantes atmosféricos puede alterar los ecosistemas marinos afectando, por ejemplo, la salud de

los arrecifes de coral a través de la acidificación del agua y la introducción de nutrientes que provocan la eutrofización en ciudades costeras (Fabricius, 2011), ya que el aumento de las temperaturas favorece la formación de ozono troposférico, un contaminante que contribuye al calentamiento global y tiene efectos adversos sobre la salud (Jacob y Winner, 2009).

Contaminantes en la atmósfera: interacción e impactos al ambiente

Dióxido de nitrógeno (NO₂). El NO₂ es un gas contaminante que tiene varios efectos sobre el cambio climático, tanto directos como indirectos. El NO₂ juega un papel clave en la formación de ozono (O₃) a nivel del suelo (ozono troposférico), el O₃ es un gas de efecto invernadero. El ozono en la troposfera contribuye al calentamiento global al atrapar el calor en la atmósfera. Además, el NO₂ también contribuye a la formación de partículas finas (PM_{2.5}) en la atmósfera.

Dióxido de azufre (SO₂). Este contaminante es un gas que tiene efectos importantes en el cambio climático, aunque sus impactos son complejos y pueden ser tanto de

calentamiento como de enfriamiento. El SO₂ es un precursor de los aerosoles sulfatados, que son pequeñas partículas que reflejan la luz solar de vuelta al espacio. Esto tiene un efecto de enfriamiento en la atmósfera, ya que reduce la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre. Otro efecto del SO₂ es la modificación de las nubes, ya que los aerosoles sulfatados pueden actuar como núcleos de condensación de nubes, aumentando la reflectividad (albedo) de las nubes.

Monóxido de carbono (CO). Tiene efectos indirectos sobre el cambio climático, aunque no es un gas de efecto invernadero por sí mismo. El CO reacciona en la atmósfera con el radical hidroxilo (·OH), que es el principal agente que oxida y elimina el metano (CH₄) de la atmósfera. El CO también juega un papel en la formación de ozono troposférico (a nivel del suelo), que es un gas de efecto invernadero. Al reaccionar con otros contaminantes en presencia de luz solar, el monóxido de carbono puede contribuir a la creación de ozono en la troposfera, aumentando así el efecto invernadero y el calentamiento global. La **Tabla 1** muestra los tipos de exposición para los contaminantes atmosféricos en apego a la normatividad mexicana.

Tabla 1. Contaminantes atmosféricos y normatividad aplicable

Contaminante	Dato base utilizado para la evaluación	Exposición	Frecuencia tolerada	Valor límite Indicador con el que se evalúa	Criterio de suficiencia anual	Norma Oficial Mexicana
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Dato horario	Aguda	1 vez al año	0.210 ppm segundo máximo	-----	NOM-023-SSA1-1993
Monóxido de carbono (CO)	Muestreo 24 h	Crónica	No se permite	1.5 µg/m ³ promedio trimestral	-----	NOM-026-SSA-1993
Ozono (O ₃)	Dato horario	Aguda	No se permite	0.095 ppm máximo	Al menos 75 % de los datos horarios	NOM-020-SSA1-2014 (DOF, 2014)
	Promedios móviles de 8 h	Aguda	No se permite	0.070 ppm máximo	Al menos 75 % de los promedios móviles de 8 h	NOM-020-SSA1-2014
Dióxido de azufre (SO ₂)	Máximo diario	Aguda	1 % de veces al año	0.075 ppm promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales	Al menos 75 % de los datos diarios por trimestre de 3 años consecutivos	
	Promedio 24 h	Aguda	No se permite	0.04 ppm máximo de 3 años consecutivos	Al menos 75 % de los promedios de 24 h por trimestre o de los meses con concentraciones altas de 3 años consecutivos	NOM-022-SSA1-2019

Fuente: SINAICA, 2024

Metodología

Área de estudio

Tulum se localiza en el centro-norte de Quintana Roo (Figura 1), y forma parte de los 11 municipios del estado; al norte limita con el municipio de Solidaridad, al sur con el municipio de Felipe Carrillo Puerto, al este con los municipios de Solidaridad, Cozumel y Mar Caribe, y al oeste con el municipio de Felipe Carrillo Puerto y el estado de Yucatán. Cuenta con una población de 46 721 habitantes, de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020). Su principal actividad económica es el turismo; entre sus principales atractivos turísticos están sus playas de arena blanca y sus ruinas arqueológicas; por número de turistas que recibe ocupa el tercer lugar a nivel nacional.

Figura 1. Área de estudio



Geoprocesamiento

Se generaron mapas de contaminación del aire en Tulum usando imágenes del satélite Sentinel-5P

y su sensor TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument) y Google Earth Engine a partir de la combinación de varias imágenes de satélite de su catálogo.

Se emplearon dos procesos metodológicos (Figura 2). El primer proceso se realizó en Google Earth Engine, donde, mediante scripts (códigos de programas), se accedió a datos atmosféricos históricos (2018-2023). Se descargaron secuencias temporales de CO, indicadores de aerosoles y NO₂ troposférico, estratosférico y total, con una resolución aproximada de 1 km (0.01 arc sec). Estos datos fueron adaptados al área de estudio, reproyectados a UTM Zona 16N y transformados a un tamaño de celda de 90 metros.

Figura 2. Secuencia metodológica de geoprocesamiento



Las unidades de medida para cada variable responden:

- Dióxido de nitrógeno (NO₂): mol/m²
- Dióxido de nitrógeno troposférico (NO₂): mol/m²
- Dióxido de nitrógeno estratosférico (NO₂): mol/m²
- Monóxido de carbono (CO): mol/m²
- Vapor de agua (H₂O): mol/m²
- Aerosol: media de prevalencia de aerosoles en la atmósfera

Adicionalmente, se aplicaron técnicas de geoprocesamiento utilizando los programas SNAP (Sentinel Application Platform), con el cual se realizó:

- 1) Corrección atmosférica: para eliminar interferencias causadas por partículas atmosféricas y mejorar la calidad de los datos.
- 2) Corrección geométrica: para garantizar que las imágenes coincidan con la geografía del área de estudio.
- 3) Extracción de bandas específicas: el sensor TROPOMI genera datos multiespectrales. Se extraen las bandas relacionadas con los contaminantes atmosféricos de interés.

Una vez procesados los datos satelitales en SNAP, estos se integran en herramientas de Sistemas de Información

Geográfica (SIG) como ArcMap y QGIS, complementadas con el uso del EO Browser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>), que permite visualizar imágenes de la serie de satélites Sentinel. A través de este enfoque, se generó el último mapa de dióxido de azufre (SO_2).

Resultados y discusión

Con GEE y el sensor TROPOMI/Sentinel5p (ESA) se obtuvieron los mapas de gases contaminantes para el municipio de Tulum, cada uno para los elementos mencionados anteriormente y con una temporalidad de análisis de 5 años (2018 a 2023).

Presencia de NO_2

La **Figura 3** muestra los mapas correspondientes a las concentraciones de NO_2 troposférico (**3a**), estratosférico (**3b**) y total (**3c**) expresado en unidades de $\mu\text{mol}/\text{m}^2$. Como puede observarse en la troposfera, capa que abarca los primeros 15 km de la atmósfera más cercana a la tierra, los niveles de NO_2 van de 7.5 a 11.1 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$. En la estratósfera que es la siguiente capa y tiene un espesor de aproximadamente 30 km, los valores van de 40.14 a 40.43 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ y el intervalo de NO_2 promedio va de 48 a 52 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$.

El NO_2 troposférico es un contaminante que tiene efectos significativos en la salud humana y el medio ambiente, en donde, al reaccionar con otros contaminantes, afecta la calidad del aire. Desde el punto de vista ambiental, el NO_2 contribuye a la formación de ácido nítrico en la atmósfera,

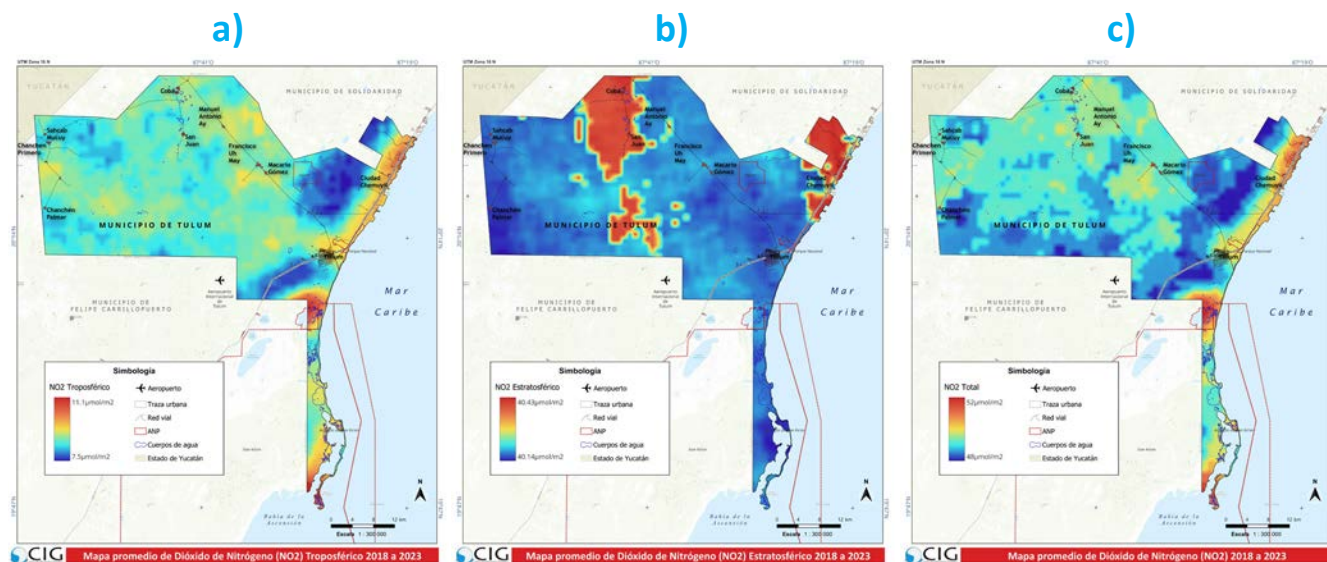
el cual es precursor de la lluvia ácida que afecta el suelo, los cuerpos de agua, la vegetación y los monumentos históricos.

Por lo que respecta a la salud humana, la exposición a NO_2 puede causar inflamación de vías respiratorias y las exposiciones por largos periodos de tiempo están asociadas con un mayor riesgo de enfermedades respiratorias crónicas (OMS, 2021). Las exposiciones a niveles elevados de NO_2 se han relacionado también con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares, hipertensión y enfermedades coronarias (EPA, 2022).

A nivel de la troposfera el NO_2 reacciona con la luz solar y se descompone dando lugar al monóxido de nitrógeno (NO) y al oxígeno atómico (O) que participa en diferentes reacciones que dan lugar a la formación de ozono troposférico (O_3) (Seinfeld y Pandis, 2016). Además, el NO_2 reacciona con los hidrocarburos presentes en la atmósfera y forma el smog fotoquímico (Jacob, 1999). En la estratosfera, el NO_2 lleva a la destrucción del O_3 , lo cual genera la destrucción de la capa de ozono, que permite la filtración de la radiación ultravioleta (UV), dañina para la vida en la tierra (OMS, 2022).

Por lo que respecta a los valores de contaminantes expresados en términos de $\mu\text{mol}/\text{m}^2$, en la literatura se reportan valores superiores a 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ como valores altos de concentración de NO_x (García y Lanfri, 2022). En este caso los valores más elevados se observan en la **Figura 3c**, que muestra datos para el NO_2 total promedio en un intervalo de 48 a 52 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ muy por debajo de lo considerado como elevado. Otro aspecto importante que señalar son los valores más altos cercanos a la costa y en la parte sur, en donde se conoce de la presencia de manglares que forman parte del

Figura 3. Distribución de NO_2 : (a) Troposférica, (b) estratosférica y (c) promedio



Fuente: Atlas de Riesgo del Municipio de Tulum, 2023

área protegida Biosfera de Sian Ka'an, mientras que los valores más bajos se observan al interior del municipio.

Por otro lado, la presencia de dióxido de nitrógeno en humedales puede estar relacionada con varios procesos naturales y antropogénicos como son: la descomposición microbiana de materia orgánica y la elevada actividad microbiana, otra causa puede ser el uso de fertilizantes en tierras de cultivo aledañas a los humedales (Galloway et al., 2003). Este tipo de ecosistemas son ricos en materia orgánica y debido a sus condiciones anóxicas o de baja concentración de oxígeno, la descomposición microbiana produce óxidos de nitrógeno (NO_x) incluyendo NO_2 , a través de los procesos de nitrificación y desnitrificación (Davidson y Seitzinger, 2006).

Presencia de CO y vapor de agua

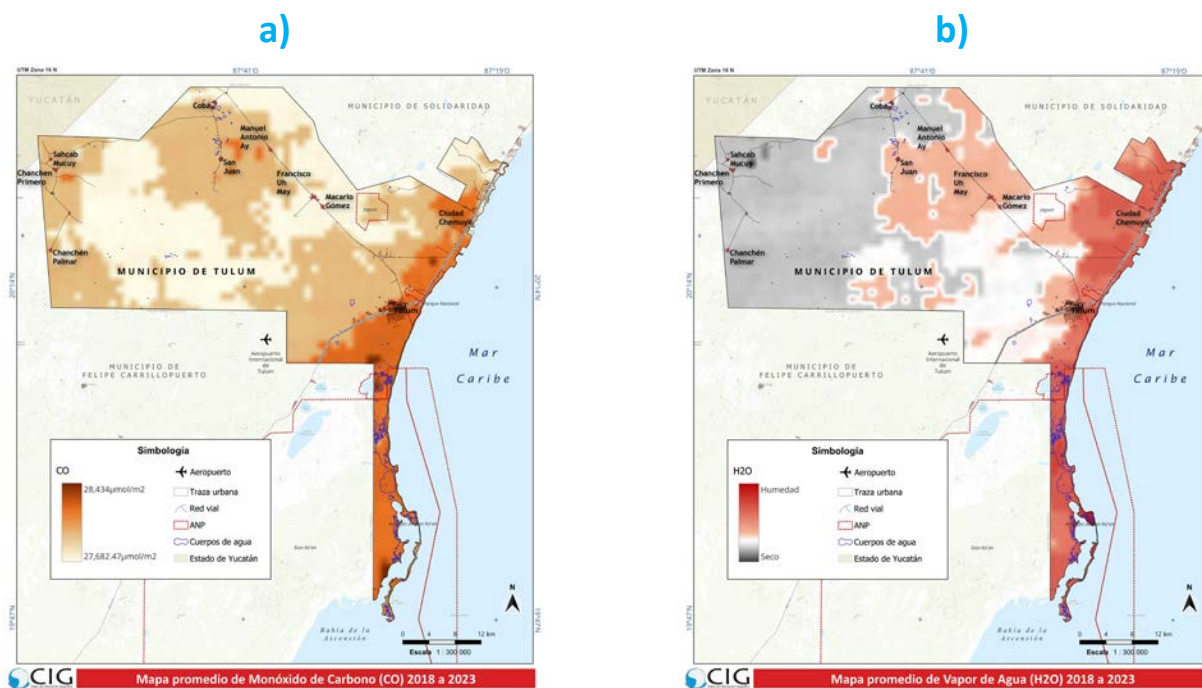
La distribución del monóxido de carbono y vapor de agua se muestran en las **Figuras 4a y 4b**, respectivamente. Si bien el CO no es considerado un gas de efecto invernadero su presencia en la atmósfera afecta los niveles de ozono y de metano, ambos considerados potentes GYCEI. El CO reacciona con los radicales hidroxilos (OH); este radical se forma al reaccionar la luz UV con el vapor de agua y el ozono en la atmósfera baja (Meteored, 2024), a nivel de la troposfera el OH es el oxidante natural más importante, conocido también como “detergente de la atmósfera”, ya

que permite la depuración de esta al reaccionar con muchos contaminantes y juega un papel muy importante en la eliminación de CO_2 y CH_4 (Airtècnics, 2024). Debido a la alta incidencia de radiación solar y los elevados niveles de vapor de agua presentes en los trópicos se ha sugerido que estas zonas son importantes generadoras de iones OH . Las emisiones de CO provienen principalmente de la quema de combustibles fósiles y biomasa, y a nivel atmosférico de la oxidación del metano y otros hidrocarburos.

De lo observado en la **Figura 4a**, el CO se distribuye a lo largo de la línea de costa de la localidad de Tulum y sobre la carretera 307, posiblemente como resultado de la combustión incompleta de hidrocarburos emitidos por vehículos automotores; otra fuente importante son los aparatos domésticos, como estufas, hornos y calentadores presentes en el sector hotelero y la quema de la biomasa por incendios forestales. Los niveles más elevados de CO, $28.434 \mu\text{mol/m}^2$, se observan al este del municipio, en donde la concentración de actividades humanas se concentra también.

El vapor de agua (H_2O), mostrado en la **Figura 4b**, es el más abundante en la tierra y no es considerado un contaminante; sin embargo, el vapor de agua es un gas de efecto invernadero que se encuentra principalmente en la troposfera. Las concentraciones más elevadas de vapor de agua se producen por procesos naturales, como la

Figura 4. Distribución de: (a) CO y (b) vapor de agua



Fuente: Atlas de Riesgo del Municipio de Tulum, 2023

fotosíntesis, y principalmente por evaporación de mares y océanos, particularmente en la zona intertropical (entre el trópico de Cáncer y el de Capricornio, quedando a la mitad el ecuador), zona geográfica en donde se localiza Tulum. La **Figura 4b** muestra que los niveles elevados de vapor de agua se encuentran cercanos a la costa, como consecuencia de la evaporación del agua de mar.

Presencia de aerosoles y SO_2

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2022), los aerosoles son partículas sólidas o líquidas que se encuentran suspendidas en el medio gaseoso y pueden permanecer así por al menos una hora, el tamaño de estas partículas oscila entre los 0.002 y 1000 μm . Los aerosoles presentes en la atmósfera pueden ser de origen primario o secundario y derivados de actividades humanas o de origen natural. Los de origen natural pueden ser marinos, minerales, volcánicos, biogénicos o cósmicos, mientras que los de origen antropogénico pueden provenir de fuentes como polvo vehicular, pulverización de carbón o roca, transporte y disposición de residuos, combustión, pinturas, imprentas, incineradores, superficies calientes, entre otras.

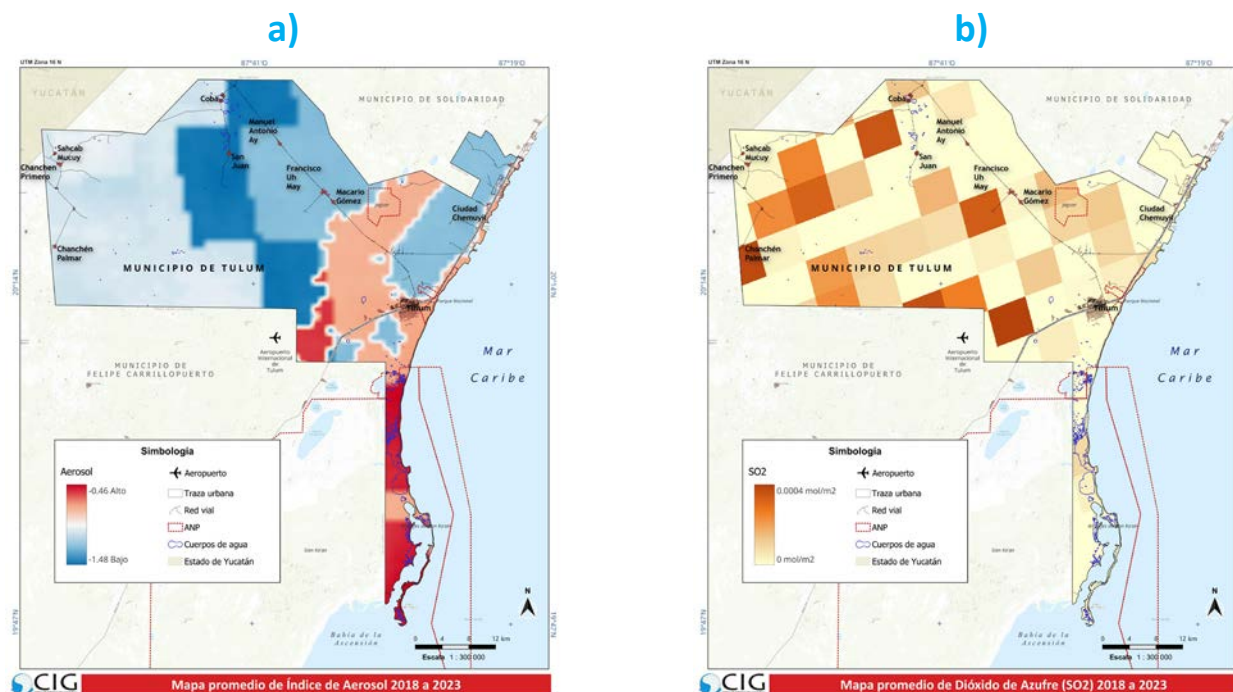
Los valores de aerosoles observados en el municipio de Tulum (**Figura 5a**) para este tipo de partículas fueron negativos; en términos de índice de aerosol, los niveles más

altos de aerosoles se observan al sur del municipio hacia Punta Allen, en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, zona con grandes áreas cubiertas de humedales, por lo que la presencia de aerosoles en esta parte del municipio podría atribuirse a la generación de aerosoles de tipo biológico que pueden incluir: granos de polen, esporas de hongos, algas, quistes de dinoflagelados producidos por algas unicelulares, así como bacterias y virus; estas gotitas de aerosol pueden ser transportadas por las corrientes de aire a grandes distancias, y en su trayecto pueden actuar como núcleos de condensación o glaciológicos, modificando el ciclo hidrológico y el clima (Pérez et al., 2020).

Otra región en la que se observa presencia de aerosoles es la indicada en color rosa pálido, localizada en la ciudad de Tulum y a lo largo de la carretera 307, lo que puede estar asociado a la presencia de aerosoles de tipo antropogénico emitidos durante el desarrollo de las actividades humanas presentes en la zona con áreas no pavimentadas, quema de combustibles fósiles, quema de residuos sólidos, entre otros.

El SO_2 es emitido principalmente durante la quema de combustibles fósiles, como gasolina, carbón y gas natural; en la atmósfera el SO_2 se combina con el vapor de agua, formando la lluvia ácida por la presencia de ácido sulfúrico (H_2SO_4), lo cual puede tener repercusiones en los ecosistemas acuáticos, en los suelos y en los monumentos históricos.

Figura 5. Distribución de: (a) aerosoles y (b) dióxido de azufre (SO_2)



Fuente: Elaboración propia con base en el Atlas de Riesgo del Municipio de Tulum, 2023

Los valores observados para el dióxido de azufre en el municipio de Tulum son muy bajos: 0.004 mol/m³. La zona no cuenta con plantas generadoras de energía a partir de la quema de carbón o petróleo, ni tampoco con refinerías de petróleo, actividades que generan grandes cantidades de SO₂, por lo que la distribución observada al sur del territorio, en zonas con poca actividad humana, pueden deberse a degradación anaerobia de materia orgánica que contiene azufre, como el sargazo, y su integración en el ciclo biogeoquímico del mismo elemento.

Conclusiones

Derivado de la urbanización del municipio de Tulum, se observó la presencia de contaminantes atmosféricos con diferentes niveles de distribución. Por su nivel de abundancia, de mayor a menor, se encontró el monóxido de carbono, 28 434 µmol/m³; el dióxido de nitrógeno promedio, 40.14 a 40.43 µmol/m³, y el dióxido de azufre, 0.004 mol/m³. En cuanto a las concentraciones de CO y NO₂, los niveles más altos se encontraron en la línea de costa, al este del municipio, y prácticamente sobre la carretera 307. En esta zona es en donde se presenta el mayor crecimiento de la actividad turística, transporte y asentamientos humanos derivados del crecimiento y urbanización de la región.

Respecto de la presencia de agua en forma de vapor, las distribuciones más elevadas se observaron a lo largo de la línea de costa, como es de esperarse, debido a la evaporación del agua de mar. Un comportamiento similar se observó para la presencia de aerosoles sobre la carretera, la cual corre de forma paralela a la línea de costa, y hasta donde los aerosoles oceánicos, junto con los aerosoles formados por actividades humanas, pueden sumarse. Un punto que llama la atención es la presencia de aerosoles al sur del municipio, hacia Punta Allen, en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, lo cual puede atribuirse a la formación de aerosoles biogénicos de la zona de humedales dentro de la reserva.

Al ser de Tulum, un municipio en pleno crecimiento y urbanización, es importante la implementación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. Entre estas medidas, las más importantes a considerar son el uso de tecnología con mayor eficiencia energética, la utilización de energías renovables en las actividades turísticas y la implementación de transporte con menores emisiones, como podría ser vehículos eléctricos (comenzando por el transporte público). Otra alternativa que podría revisarse es la participación en mercados de emisiones por captura de carbono para las zonas del municipio que aún conservan cobertura vegetal o bien que se encuentran dentro de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

La exploración de nuevas tecnologías, como los procesos de oxidación avanzada, por ejemplo, la fotocatalisis,

debe ser tomada en cuenta dentro de las políticas ambientales. Una de las características de la zona intertropical en la que se encuentra Tulum es la alta incidencia de radiación solar, por lo que la aplicación de películas fotocatalíticas en azoteas, aeropuertos, edificios y carreteras permitiría reducir los niveles de NO_x, SO_x y compuestos orgánicos volátiles. Sin embargo, además de los altos niveles de radiación UV, es importante tomar en cuenta la velocidad del viento, la temperatura y la humedad en el ambiente, estos dos últimos factores son favorables en la región de Tulum.

Referencias

- Airtécnicos. (2024). *Air Desinfection*. Recuperado de <https://www.airtecnics.com/es/tecnologia/tecnologia-de-radicales-hidroxilos#:~:text=El%20radical%20hidroxilo%20OH%20es,proceso%20de%20depuraci%C3%B3n%20de%20%C3%A9stos> (Consultado en agosto de 2024).
- Davidson, E. A., & Seitzinger, S. (2006). The enigma of progress in denitrification research. *Ecological Applications*, 16(6), 2057-2063. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[2057:TEOPID\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[2057:TEOPID]2.0.CO;2)
- Environmental Protection Agency (EPA). (2022). *Health and environmental effects of nitrogen dioxide*. <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#effects>
- Galloway, J. N., Aber, J. D., Erisman, J. W., Seitzinger, S. P., Howarth, R. W., Cowling, E. B., et al. (2003). The nitrogen cascade. *BioScience*, 53(4), 341-356. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0341:TNC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0341:TNC]2.0.CO;2)
- García, M. & Lanfri, M. (2020). *Promedio mensual de la columna troposférica de NO₂ TROPOMI/Sentinel5p*. Gerencia de Vinculación Tecnológica. Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Versión: 2.0. Argentina. Recuperado de: https://documentoside.conae.gov.ar/public/docs/prd/sen5p/tropomi/no2m/20200326_GVT_S5U_UEAT_GE_v02_002_CONAE_TROPOMI_NO2.pdf
- H. Ayuntamiento de Tulum. (2023). *Atlas de riesgo del Municipio de Tulum*. <https://tulum.gob.mx/inciso-p/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). *Climate change 2013: The physical science basis*. Cambridge University Press.
- Jacob, D. J. (1999). *Introduction to atmospheric chemistry*. Princeton University Press.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html#Datos_abiertos
- Magrin, G. (2015). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe* (Documentos de Proyectos 39842). Naciones Unidas. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Meteored. (2024). *El tiempo*. Recuperado de: <https://www.tiempo.com/ram/486041/el-radical-hidroxilo-oh-se-recicla-en-la-atmosfera/> (Consultado en agosto de 2024).
- Organization Mundial de la Salud (OMS). (2022). *Radiación ultravioleta*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation>

- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Ambient (outdoor) air pollution*. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2016). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241511353>
- Primagas. (2024). *Gases de efecto invernadero (GEI)*. Recuperado de: <https://www.primagas.es/blog/gases-de-efecto-invernadero-gei#:~:text=Los%20Gases%20de%20Efecto%20Invernadero%2C%20comúnmente%20abreviados%20como%20GEI%2C%20son,el%20calor%20en%20la%20atmósfera.>
- Reddy, K. R., & DeLaune, R. D. (2008). *Biogeochemistry of wetlands: Science and applications*. CRC Press.
- Secretaría de Turismo (SECTUR). (2020). Recuperado de: <https://www.gob.mx/sectur/articulos/pueblos-magicos-206528>
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). (2024). Recuperado de: <https://sinaica.inecc.gob.mx/pags/noms.php>
- Smith, V. H. (2003). Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: A global problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 10(2), 126-139.
- United Nations (UN). (2022). *Naciones Unidas por el Clima*. Recuperado de: <https://www.un.org/es/climatechange/science/key-findings#physical-science>



Percepción de la resiliencia de vialidades frente al cambio climático en una ciudad costera del Sureste de México

Perception of road resilience to climate change in a coastal city in southeastern Mexico

Anita Martínez Méndez^{1*}
Ricardo Enrique Vega Azamar¹
Herlinda del Socorro Silva Poot¹

¹Instituto Tecnológico de Chetumal, Chetumal, Quintana Roo, México

*Autora de correspondencia: anitamartinezmdez@gmail.com

Editor encargado: Dr. Oscar Frausto Martínez
Editora invitada: Dra. Ana Cecilia Travieso Bello

Recibido: 16 de agosto de 2024 - Aceptado: 03 de octubre de 2024

Resumen

El sistema de infraestructura vial es esencial para el funcionamiento de los flujos urbanos y actúa como el principal organizador de las ciudades, determinando la ubicación de actividades y su expansión. En las ciudades costeras en desarrollo, estas infraestructuras enfrentan desafíos de resiliencia ante fenómenos relacionados con el cambio climático, como tormentas tropicales y huracanes. Este estudio tuvo como objetivo caracterizar la percepción de los habitantes sobre la resiliencia del sistema de vialidades en Chetumal, Quintana Roo, México. Se utilizó un cuestionario para la recolección de datos, cuya consistencia se evaluó mediante el alfa de Cronbach obteniendo un valor de 0.86. Se aplicó a 292 hogares mediante un muestreo probabilístico. El análisis de datos se realizó con el software SPSS para estadísticas descriptivas. El estudio resalta que el sistema de vialidades es clave para la conexión y el desplazamiento, además de ser fundamental para la resiliencia en momentos de crisis asociados al cambio climático. Estos hallazgos indican la necesidad de mejorar la infraestructura vial y su mantenimiento para enfrentar adecuadamente los retos que plantea el cambio climático en la región.

Palabras clave: Riesgo, Cambio climático, Percepción y huracanes

Abstract

The road infrastructure system is essential for the functioning of urban flows and acts as the main organizer of cities, determining the location of activities and their expansion. In developing coastal cities, these infrastructures face challenges of resilience to climate change-related phenomena, such as tropical storms and hurricanes. This study aimed to characterize the perception of residents regarding the resilience of the road system in Chetumal, Quintana Roo, Mexico. A questionnaire was used for data collection, whose consistency was evaluated using Cronbach's alpha, obtaining a value of 0.86. It was applied to 292 households using a probabilistic sampling. Data analysis was performed using SPSS software for descriptive statistics. The study highlights that the road system is key for connection and movement, as well as being fundamental for resilience in times of crisis associated with climate change. These findings indicate the need to improve road infrastructure and its maintenance to adequately address the challenges posed by climate change in the region.

Keywords: Risk, Climate change, Perception and hurricanes

Introducción

Los sistemas de infraestructura urbana son fundamentales para el desarrollo económico, social y cultural de las comunidades, y facilitan la generación, almacenamiento y distribución de recursos esenciales para satisfacer las necesidades básicas y promover transacciones comerciales y sociales (Gallego y Essex, 2016). La infraestructura vial, como soporte principal de los flujos urbanos, estructura las ciudades y determina la localización y expansión de actividades. Además, es crucial para mejorar la movilidad y mitigar la congestión vehicular, especialmente durante crisis climáticas, como los impactos de los fenómenos hidrometeorológicos.

La resiliencia de las infraestructuras viales es un tema de creciente relevancia en el contexto del cambio climático, especialmente en las ciudades costeras que enfrentan fenómenos hidrometeorológicos cada vez más frecuentes e intensos. Esta situación ha generado preocupación en diversas instituciones y gobiernos a escalas internacional, nacional y estatal, lo que ha llevado a la creación de políticas públicas enfocadas en fortalecer la resiliencia ante eventos relacionados con el cambio climático. En este contexto, destaca el Marco de Acción de Sendai, que tiene como objetivo “prevenir la aparición de nuevos riesgos de desastres y reducir los existentes mediante la implementación de medidas integradas e inclusivas en diversos ámbitos, con el fin de disminuir la exposición a amenazas y mejorar la preparación para la respuesta y la recuperación, reforzando así la resiliencia” (ONU, 2015, p. 12).

En la construcción de sistemas de infraestructura resiliente uno de los elementos fundamentales es el conocimiento y la percepción sobre las situaciones a las cuales se encuentran expuestas. La percepción resulta esencial para enfrentar los desafíos asociados al cambio climático, ya que permite identificar las vulnerabilidades existentes y desarrollar estrategias efectivas de mitigación y adaptación (Agrawal et al., 2020). La capacidad de una comunidad para responder a estos eventos adversos depende en gran medida de su nivel de conciencia y preparación, lo que indica la importancia de fomentar una cultura de resiliencia en la planificación y gestión de infraestructuras. Investigaciones recientes han demostrado que la percepción social influye en la efectividad de las estrategias de mitigación y adaptación (Liu y Duan, 2023). Comprender correctamente un constructo de estudio y sus elementos asociados es clave para la construcción de sistemas de infraestructura resiliente (Lopez y Diaz, 2019). En el mismo sentido, Rokooei y colaboradores (2022) manifiestan que es fundamental investigar la percepción de resiliencia entre los actores que influyen en diversos sectores interrelacionados, como infraestructura, energía, atención médica y movilidad. Esta evaluación es crucial

para garantizar la resiliencia en cada comunidad y reducir las pérdidas económicas tras el impacto de eventos extremos, como huracanes o inundaciones (Rozenberg et al., 2017; O'Connor et al., 1999). Al abordar esta percepción, se evita que tales eventos se conviertan en desastres, lo cual solo se puede lograr mediante una preparación y planificación adecuadas, así como una respuesta y recuperación proactivas ante situaciones adversas. Sin embargo, a pesar de la importancia de este aspecto, existe una escasez de estudios que analicen de manera sistemática cómo los habitantes de ciudades costeras perciben la resiliencia de sus sistemas de infraestructuras ante el cambio climático.

En ese contexto, el presente estudio tuvo como objetivo conocer la percepción de la resiliencia ante el cambio climático del sistema de vialidades de Chetumal, Quintana Roo, México, desde el marco de resiliencia para sistemas de infraestructura urbana.

Marco teórico

La percepción de las poblaciones es crucial para abordar los riesgos que enfrentan las ciudades a nivel mundial. Se define como el proceso cognitivo que permite a los individuos reconocer, entender e interpretar eventos, influenciado por la experiencia previa, el contexto social y cultural (Rokooei et al., 2022). El riesgo es la combinación de la probabilidad de ocurrencia de un peligro y la magnitud de sus consecuencias (Murugesan, 2020; Wilches-Chaux, 2005). Para Lavell (2009) los riesgos son una construcción social, lo que implica que la percepción del riesgo es un juicio subjetivo sobre fenómenos adversos. Esta percepción es vital para comprender las preocupaciones sobre riesgos naturales y provocados por el hombre, además de indicar la disposición de las personas a tomar medidas para mitigarlos (Reuter & Spielhofer, 2017; Leiserowitz, 2006; O'Connor et al., 1999). La percepción del riesgo de desastre está influenciada por una serie de factores individuales y sociales que interactúan en la forma en que las comunidades interpretan y responden a las amenazas (Lavell, 2000). Una mayor conciencia y comprensión del riesgo puede motivar a las comunidades a implementar estrategias efectivas en la gestión del riesgo y la resiliencia.

Para O'Donnell (2021), la percepción de la resiliencia entre los usuarios de las vialidades es un aspecto crítico que influye en la efectividad de las estrategias de respuesta y recuperación. Esta percepción se refiere a cómo los individuos y comunidades evalúan su capacidad para enfrentar y adaptarse a eventos adversos. Factores como experiencias pasadas, disponibilidad de información y la comunicación de riesgos por parte de las autoridades juegan un papel fundamental en la formación y comprensión del concepto (Rokooei et al., 2022; Postigo, 2014). Comprender

cómo los usuarios perciben la resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana, incluidas las vialidades, puede apoyar en la construcción de políticas y prácticas que mejoren la preparación y respuesta ante los efectos del cambio climático.

La resiliencia de la infraestructura se define como la capacidad de un sistema para anticipar, prepararse, responder y recuperarse de eventos adversos (Martínez, 2020). En ese sentido, Ranjan y Abenayake (2014), señalan que la evaluación de la resiliencia se puede realizar a través de la percepción de los actores involucrados en la planificación y gestión de la infraestructura, lo que permite identificar vulnerabilidades y áreas de mejora. En el caso de las vialidades, esta resiliencia es crucial para garantizar la movilidad y el acceso a servicios esenciales antes, durante y después de eventos asociados al cambio climático, como las inundaciones y huracanes.

Las vialidades se consideran servicios esenciales en situaciones de crisis, mismas que son un elemento básico de la forma urbana y de la estructura de la ciudad, pues en torno a ella se ordenan todos los elementos y el medio por el cual se relacionan todas las actividades que se dan en las urbes, mismas que pueden ser analizadas desde sus tres categorías de análisis: primaria, secundaria y terciaria. La vialidad primaria se constituye por las vías principales que atraviesan toda la ciudad o gran parte de ella, que son las más amplias y con mayor cantidad de tráfico. La vialidad secundaria relaciona distintas zonas de la ciudad, vinculadas con las vías primarias. A su vez, la vialidad terciaria corresponde a las calles más pequeñas de vecindario, que dan servicio a zonas pequeñas y, debido a su escasa extensión, son atravesadas por poco tránsito (Duchi, 2003).

La disposición o forma de organización de los sistemas de vialidades constituye el primer aspecto a considerar en la generación de una estructura urbana, pues de ello dependerá el flujo de desplazamiento que se tendrá para la realización de las diversas actividades en situaciones de emergencia y momentos de crisis.

Un sistema de infraestructura resiliente de vialidades se puede definir como aquel sistema que permite el flujo de desplazamiento antes, durante y posterior al impacto de un fenómeno y posee las características de: a) probabilidades de falla reducidas, b) reducción de las consecuencias de las fallas, en términos de vidas perdidas, daños y consecuencias económicas y sociales negativas, y c) reducción del tiempo de recuperación (Bruneau et al., 2003). Asimismo, se puede estudiar desde el marco de resiliencia para sistemas de infraestructura urbana resiliente, que considera seis dimensiones en los tres momentos de construcción de resiliencia: a) previo al impacto: robustez y recursos; b) durante el impacto: funcionalidad y redundancia, y c) posterior al impacto: rapidez y transformación.

Metodología

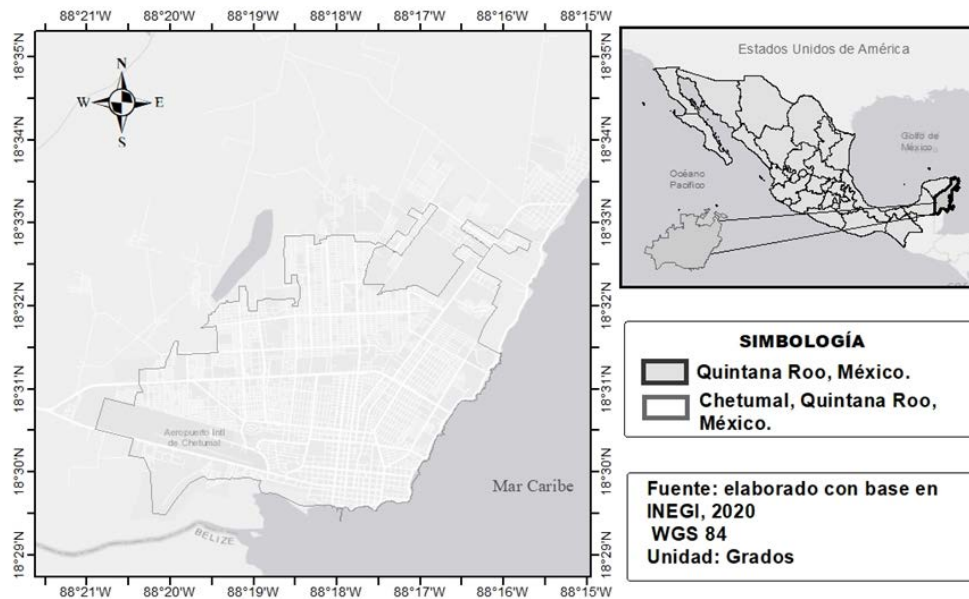
La localidad urbana de Chetumal, capital del estado de Quintana Roo, se caracteriza por su ubicación geográfica como ciudad costera. Situada en el sureste de México, dentro del municipio de Othón P. Blanco, Chetumal se encuentra entre los paralelos 18° 33' 46" y 18° 29' 40", y los meridianos 88° 21' 57" y 88° 16' 45" (**Figura 1**). La ciudad abarca una superficie de 18 158 hectáreas (CAPA, 2015) y cuenta con una población de 169 028 habitantes (INEGI, 2020). Su extensión territorial es de aproximadamente 67 km de largo y 20 km de ancho en su parte más amplia, lo que equivale a un área cercana a los 1 100 kilómetros cuadrados (Castillo, 2009).

La traza urbana de Chetumal está conformada por 95 zonas que corresponden a colonias y fraccionamientos. En la estructura urbana del área metropolitana es importante distinguir que su ordenación general está constituida por cinco localidades: Calderitas, Subteniente López, Huay-Pix, Xul-Ha y Chetumal. La conformación interna de Chetumal se basa en una traza reticular con cuatro ejes principales, estructurada en sentido oriente-poniente y de norte a sur, por avenidas de enlace como la Av. Machuxac, la Av. Erick Paolo Martínez, la Fidel Velásquez (Bugambilias), la Av. Insurgentes, la Av. Manuel Acuña-San Salvador, la Av. Efraín Aguilar y la Av. Álvaro Obregón. En sentido norte-sur desde el poniente, las avenidas incluyen: Javier Rojo Gómez, Andrés Quintana Roo, Juárez, 4 de Marzo, Nápoles, Magisterial, Héroes, Veracruz y el Boulevard Bahía. Su red vial se integra por aproximadamente 732.4 kilómetros de vías de comunicación que corresponden a carreteras federales, vialidades primarias, secundarias y terciarias (Municipio Othón P. Blanco, 2018; 2023; López, 2016).

En relación con los riesgos, Chetumal se clasifica entre las principales ciudades expuestas a ciclones tropicales. Como ciudad costera, enfrenta anualmente una temporada de huracanes que se extiende desde junio hasta noviembre. A lo largo de su historia, Chetumal ha sufrido el impacto de diversos fenómenos naturales; sin embargo, aquellos que han dejado una huella significativa en su desarrollo urbano son los que han ocasionado daños más severos y han influido de manera notable en su crecimiento. Entre estos eventos destacan el huracán Janet (1955), Carmen (1974), Mitch (1998) y Dean (2007). Cada uno de estos huracanes presenta características únicas en términos de vientos, precipitación, presión atmosférica, oleaje y mareas de tormenta, lo que resalta la diversidad y complejidad de los riesgos a los que se enfrenta la ciudad (Martínez, 2020).

La investigación se realizó en Chetumal, Quintana Roo, México, una región vulnerable a fenómenos hidrometeorológicos anuales. Se utilizó el enfoque de estudio de caso y se exploró la percepción de la población

Figura 1. Localización del área de estudio



sobre la resiliencia del sistema de vialidades ante estos eventos. Se empleó un cuestionario estructurado, en seis secciones correspondientes a los componentes clave del marco de resiliencia para sistemas de infraestructura urbana: robustez, recursos, funcionalidad, redundancia, rapidez y transformación. El cuestionario fue validado por medio del coeficiente alfa de Cronbach de 0.88, asegurando su confiabilidad, y aplicado en el año 2020 y 2021. La muestra incluyó 292 hogares seleccionados mediante muestreo probabilístico, con un nivel de confianza del 90 %. La población objetivo consistió en habitantes de 18 años y más.

La selección de la muestra se realizó en cuatro etapas: identificación de AGEB, afijación proporcional, distribución a nivel de manzana y muestreo aleatorio simple. El análisis de los datos se llevó a cabo con el software SPSS, utilizando estadísticas descriptivas para identificar patrones y tendencias en la percepción de la resiliencia del sistema vial.

Resultados y discusión

Generalidades de la población

En el presente estudio se encuestó a una muestra representativa de la población local, donde el 65 % de los participantes fueron mujeres y el 45 %, hombres. La edad promedio de los participantes fue de 42 años, con un rango de edad que oscila entre los 18 y los 78 años; al respecto, Douglas (2013) señala que la predominancia femenina influye en las actitudes hacia la gestión del riesgo y, por

ende, en la resiliencia, dado que las mujeres a menudo tienen diferentes experiencias y percepciones sobre la seguridad y vulnerabilidad en sus comunidades. En ese mismo sentido, el 57 % de la muestra ha experimentado un huracán, lo que resalta la vulnerabilidad de la comunidad ante fenómenos climáticos extremos. La resiliencia está asociada de manera directa con la percepción de riesgo, misma que está mediada por la experiencia personal, ya sea al producir la aceptación de eventos como extremadamente riesgosos o al normalizar los riesgos asociados a ellos, además, señalan que la falta de compromiso de las sociedades con los eventos asociados a cambio climático depende de su percepción de barreras particulares, incluidas otras prioridades, la falta de conocimiento y la desconfianza o falta de acción por parte de los políticos y la comunidad en general (Lorenzoni, NicholsonCole y Whitmarsh, 2007 citados en Sara et al., 2015).

Por otra parte, los motivos señalados para habitar en sus viviendas fueron variados: el 28 % indicó que fue una decisión propia, el 26 % mencionó la venta de terrenos económicos, el 22 % citó la falta de recursos para adquirir una vivienda y el 24 % heredó su propiedad. Estos factores reflejan no solo decisiones individuales, sino también condiciones socioeconómicas que influyen en la capacidad de los individuos para establecerse en sus hogares. Para Douglas (1996) las comunidades con menos recursos económicos tienden a percibir los riesgos como más amenazantes y pueden estar menos dispuestas a aceptar riesgos asociados con su entorno, situación que condicionaría la resiliencia de

sus entornos. Por tanto, la integración de estas perspectivas puede contribuir al desarrollo de estrategias más efectivas para gestionar riesgos y fomentar una mayor resiliencia comunitaria.

Marco de resiliencia para sistemas de infraestructura Robustez

La robustez se refiere a la capacidad de un sistema de infraestructura para soportar tensiones y choques dentro de niveles tolerables y rentables, permitiendo su funcionamiento en situaciones de crisis. En esta dimensión se estudiaron las variables relacionadas con la percepción sobre el grado de impacto de las vialidades y los tipos de afectaciones asociados al cambio climático.

Se encontró que los encuestados perciben diferentes grados de impacto del cambio climático: el 12 % lo considera “muy malo”; el 15 %, “alto”; el 33 %, “medio”; el 5 %, “bajo”; y el 12 %, “muy bajo”. Sara y colaboradores (2015) y Ruszczyk (2017) señalan que el grado de percepción se asocia de manera directa con la experiencia personal de cada individuo. Por su parte, Biondini y colaboradores (2022) destacan que los sistemas de infraestructura vial deben cumplir con estándares de seguridad modernos y una adecuada planeación de políticas de gestión para mantener niveles de afectación bajos o nulos, asegurando su funcionalidad tanto en condiciones operativas como de emergencia.

La variable tipos de afectaciones se asocia con el nivel de robustez del sistema. Al respecto, el 30 % de los encuestados mencionó los hundimientos como principal tipo de afectación; el 20 %, desprendimiento de carpeta; el 35 %, baches; y 3 % percibió ningún tipo de afectación. Estos resultados se asocian con lo planteado por O'Donnell y colaboradores (2021), quienes externan que los diversos tipos de percepciones respecto de las afectaciones están relacionados con las experiencias vividas; es decir, la memoria es un factor clave para la

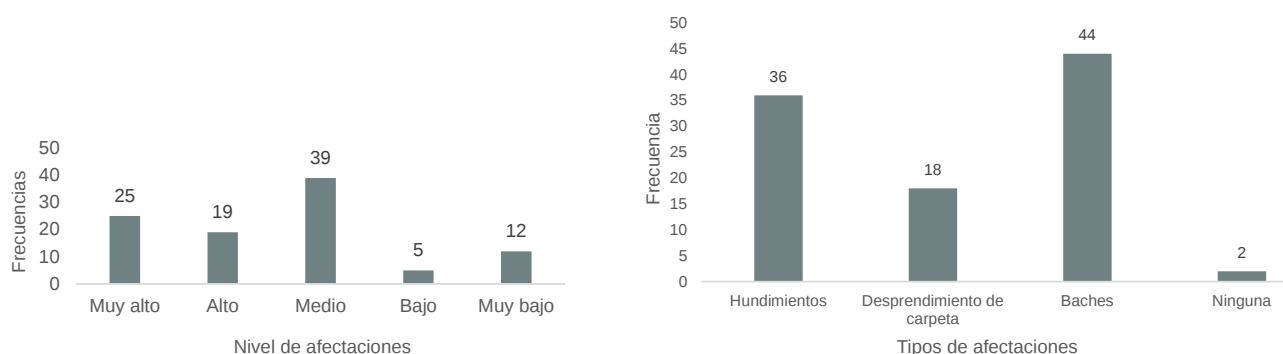
construcción de resiliencia en sistemas de infraestructura urbana (**Figura 2**).

La **Figura 2** revela que el 44 % de la muestra identifica a los baches como el impacto más significativo, atribuido a fenómenos hidrometeorológicos como inundaciones y huracanes; dicho porcentaje indica que es un factor clave en la percepción general de los encuestados. En tal sentido, desde la perspectiva de Douglas (1996), la aceptabilidad del riesgo es una construcción social que varía según normas culturales, por tanto, el 44 % podría asociarse con una normalización del riesgo para la comunidad. Para Postigo (2014), las experiencias vividas son clave en la percepción y construcción de la resiliencia. Además, el 25 % de los encuestados percibe un nivel de afectación muy alto y el 19 % alto, lo que puede estar vinculado a problemas graves, como hundimientos y baches, que afectan la calidad y seguridad de las vialidades debido a los impactos de fenómenos hidrometeorológicos; o en su caso a la aceptabilidad del riesgo derivado de la cultura que han construido para hacer frente a los efectos del cambio climático. Al respecto, Douglas (2013) enfatiza que estudiar la percepción del riesgo como un ejercicio cognitivo individual limita a la solución de problemas desde una perspectiva comunitaria.

Recursos

Los recursos se definen como la capacidad social, física y financiera que posee un sistema de infraestructura para responder ante diversas perturbaciones (O'Rourke, 2007). En esta dimensión se caracterizó la percepción sobre la capacidad financiera y social con la que cuenta el sistema de infraestructura de vialidades. En relación con los recursos financieros destinados al mantenimiento preventivo de las vialidades, el 25 % de los usuarios percibe que este mantenimiento se realiza una vez al año, mientras que el 15 % reporta que se lleva a cabo dos veces al año y el 10 % indica que se efectúa tres veces al año. Estos datos evidencian que

Figura 2. Nivel y tipo de afectaciones



La Figura muestra las percepciones de los encuestados sobre el nivel y tipo de afectaciones en las vialidades ante fenómenos hidrometeorológicos

menos de la mitad de los usuarios considera que se proporciona un mantenimiento regular de sistemas de infraestructura, incluyendo el sistema de vialidades (Islam et al., 2021). Sin embargo, por parte del gobierno municipal se ha dado atención a 2 934 baches por medio del “Programa de Bacheo”, mismo que está activo los 12 meses del año. No obstante, depende de los recursos presupuestales que se den a lo largo del año, de la capacidad del personal y de la infraestructura para dar atención oportuna a los reportes de la ciudadanía. Además, los reportes se atienden tomando en cuenta la jerarquía de las vialidades, en primer orden se da atención a las primarias, posteriormente a las secundarias y terciarias (Municipio Othón P. Blanco, 2023; 2022) (**Figura 3**).

La **Figura 3** muestra que el 44 % de los usuarios indica que el mantenimiento solo se realiza tras un fenómeno hidrometeorológico. Para Harrison y colaboradores (2023) el enfoque reactivo es inadecuado para la resiliencia de la infraestructura urbana ante el cambio climático y eventos extremos. Además, el 6 % de los usuarios percibe que nunca se proporciona mantenimiento. Capacci y colaboradores (2022) advierten que la falta de mantenimiento compromete la seguridad y funcionalidad de la infraestructura vial, especialmente en situaciones de emergencia y de crisis. Al respecto, se ha identificado que los baches son una constante en las vialidades, mismos que continúan siendo afectados por las lluvias y la falta de mantenimiento lo que puede generar afectaciones asfálticas que ponen en riesgo la integridad de los ciudadanos en momentos de crisis; tal situación dio lugar a la generación, por parte del gobierno municipal, del “Programa de Bacheo” para dar atención de manera preventiva y oportuna, de acuerdo a la disponibilidad presupuestal, a la problemática de las vialidades (Municipio Othón P. B, 2023).

Los recursos financieros son clave para la resiliencia de los sistemas de infraestructura (Zhang y Whang, 2016).

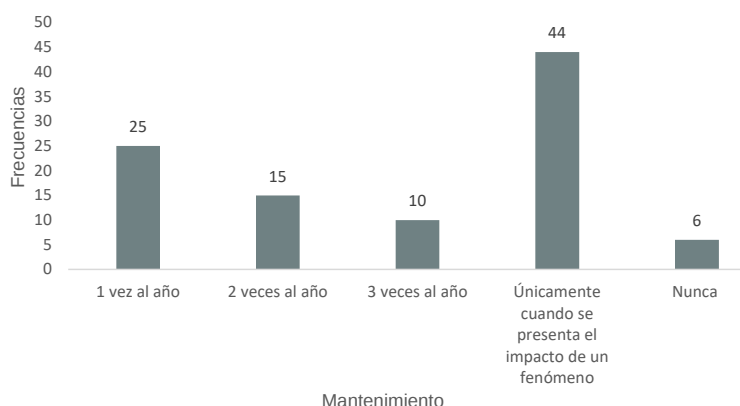
Los resultados muestran que la resiliencia de las vialidades en la zona de estudio está comprometida por la disponibilidad presupuestal para los programas relacionados con la atención a la problemática de bacheo. Esto revela un enfoque reactivo por parte de las autoridades y una percepción generalizada de mantenimiento insuficiente o inexistente, indicando la necesidad de mejorar las prácticas de gestión de la infraestructura vial.

Funcionalidad

La funcionalidad de un sistema de infraestructura se refiere a su capacidad de operar ante el impacto de un fenómeno (Bruneau et al., 2003). En esta dimensión se estudió el estado de las vialidades y el conocimiento de las rutas de evacuación. Se encontró que el 2 % de los usuarios percibe sus vialidades en estado excelente tras un evento hidrometeorológico, y el 15 % en buen estado, sumando un 17 % que considera las vialidades funcionales y seguras. Sin embargo, el 20 % califica el estado de las vialidades como regular, dato que revela que una parte significativa necesita reparaciones para recuperar su funcionalidad. Zhou y colaboradores (2018) señalan que los Sistemas de Alerta Temprana deben incluir herramientas y procedimientos bien diseñados para que comunidades y autoridades tomen medidas preventivas, reduciendo así el impacto de eventos hidrometeorológicos extremos.

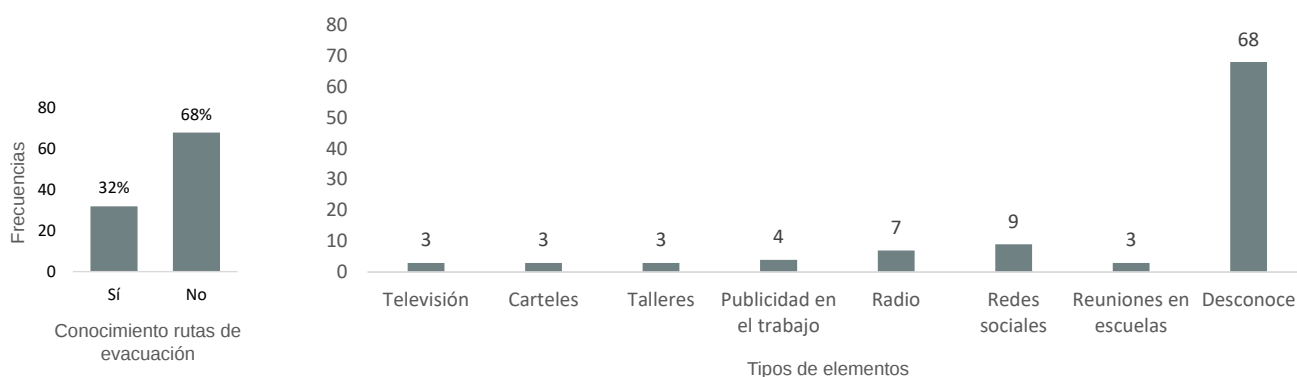
Por otra parte, el 63 % de los usuarios percibe que el estado de las vialidades es malo tras el impacto de un fenómeno. Esta percepción generalizada de un deterioro severo indica que la resiliencia de la infraestructura vial es limitada ante eventos climáticos extremos. Al respecto, Davis y colaboradores (2024) y López y Díaz (2019) señalan que para que un sistema de infraestructura sea considerado resiliente debe conservar un nivel adecuado de funcionamiento antes, durante y después de un evento.

Figura 3. Programa de mantenimiento a vialidades



Esta Figura se refiere al número de veces que los encuestados perciben que se proporciona mantenimiento a las vialidades

Figura 4. Conocimiento de las rutas de evacuación



Esta Figura muestra las percepciones en porcentajes de los encuestados sobre el conocimiento de las rutas de evacuación y los medios por los cuales se enteraron

El conocimiento del espacio urbano es crucial para construir la resiliencia de los sistemas de infraestructura (Oliver y Haney, 2017). La **Figura 4** revela una falta de información que compromete esta resiliencia en situaciones de desastre, ya que el 68 % de los encuestados desconoce las rutas de evacuación. Según O'Rourke y colaboradores (2014), la falta de experiencia ante peligros en contextos geográficos específicos dificulta la creación de infraestructuras resilientes. Además, más del 50 % de la población no está preparada para responder adecuadamente en emergencias, y solo el 32 % afirma conocer las rutas de evacuación, un porcentaje insuficiente para garantizar una respuesta efectiva a nivel comunitario. Para Begum y colaboradores (2022), el conocimiento y experiencia sobre eventos extremos, que se atribuye a la gestión del riesgo de desastre, contribuye de manera significativa para la construcción de sistemas de infraestructura resiliente.

Los resultados de esta encuesta muestran que la resiliencia comunitaria ante desastres se ve gravemente

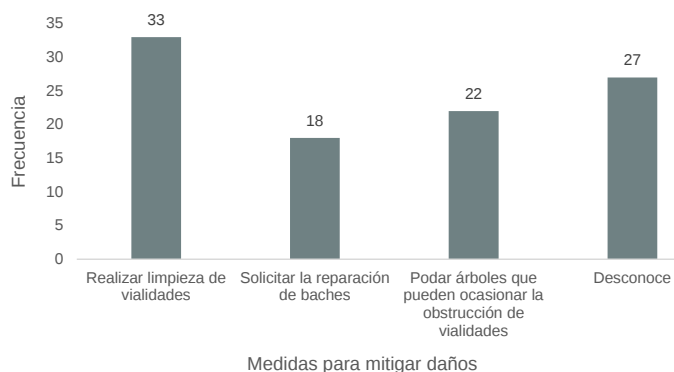
comprometida por la falta de conocimiento sobre las rutas de evacuación de los sistemas de infraestructura de vialidades.

Redundancia

La redundancia en los sistemas de infraestructura se refiere a su capacidad de ofrecer alternativas y adaptarse ante el estrés causado por fenómenos, permitiendo ajustes y modificaciones para responder mejor a perturbaciones climáticas (Gallego y Essex, 2016). El conocimiento sobre medidas para mitigar daños es fundamental para construir infraestructuras con enfoques resilientes (Paige y Verhaeghe, 2018). En este sentido, el 33 % de la población reconoce que puede realizar la limpieza de vialidades para reducir daños (**Figura 5**), lo que coincide con Aydin y colaboradores (2018), quienes destacan la efectividad de limpiar infraestructuras para prevenir obstrucciones por escombros o sedimentos tras inundaciones o deslizamientos de tierra.

Por otra parte, el 18 % de los encuestados tiene conocimiento de que puede solicitar la reparación de

Figura 5. Medidas para disminuir daños en vialidades



baches a las autoridades competentes, servicio que ofrece el gobierno municipal a través de solicitudes ciudadanas que son atendidas por medio del “Programa de Bacheo”. Según Islam y colaboradores (2021), los baches son defectos que resultan de la pérdida de resistencia y durabilidad debido a las altas cantidades de agua, y su atención oportuna es vital para mantener el desplazamiento y seguridad de las vialidades, especialmente ante los efectos del cambio climático. Además, el 22 % de la población reconoce que podar árboles que puedan obstruir las vialidades es una medida preventiva importante, ya que los árboles caídos o ramas rotas son causas comunes de bloqueo durante tormentas o huracanes. Sin embargo, el 27 % de los encuestados desconoce qué medidas tomar para reducir daños en las vialidades, lo que indica que una parte significativa de la población no está preparada para responder adecuadamente a los eventos asociados al cambio climático; de acuerdo con Douglas (2013) se asocia a la falta de cultura y de experiencias vividas para enfrentar los riesgos.

Un aspecto clave en caso de emergencia es que la población conozca las rutas alternas de evacuación. Al respecto, solo el 36 % de la población está al tanto de estas rutas, un porcentaje bajo para una respuesta adecuada ante fenómenos hidrometeorológicos. Soleimani y colaboradores (2021) destacan que el conocimiento comunitario sobre rutas de evacuación es fundamental para la resiliencia ante desastres, mientras que el 64 % de los encuestados desconoce estas rutas, lo que sugiere una falta de preparación para el cierre de vialidades principales durante un evento. En ese sentido, Martín y colaboradores (2021) afirman que la falta de conocimiento sobre medidas de respuesta ante desastres es

una barrera clave para la resiliencia comunitaria, resaltando la necesidad de mejorar la comunicación y educación sobre resiliencia en los sistemas de infraestructura vial.

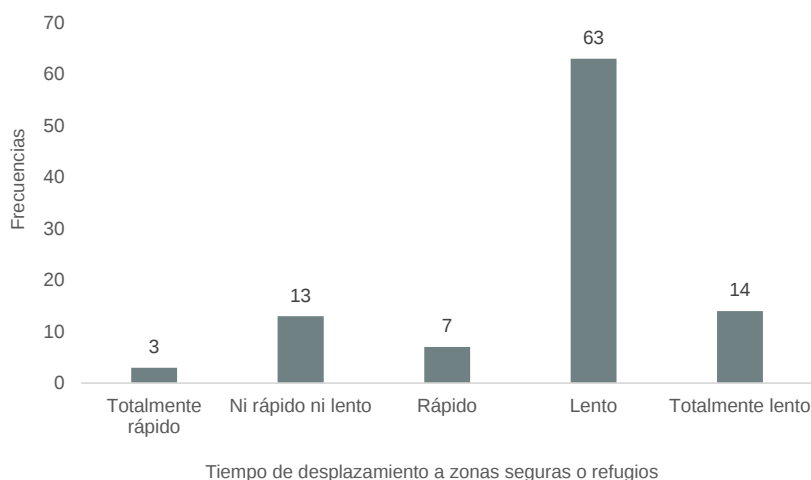
Rapidez

La rapidez se refiere a la velocidad con la que un sistema puede recuperarse ante un fenómeno perturbador (Bruneau et al., 2003). La **Figura 6** muestra la percepción de la población sobre el tiempo de desplazamiento durante un evento. Los resultados indican que solo el 3 % de los encuestados percibe el desplazamiento como totalmente rápido, lo que refleja desconfianza en la eficiencia de las rutas de evacuación y la infraestructura vial en emergencias. Un 7 % adicional considera el desplazamiento rápido, sumando un 10 % con una percepción positiva sobre la rapidez en crisis. Según Rozenberg y colaboradores (2017), los sistemas de infraestructura resiliente deben mantener su servicio antes, durante y después de un fenómeno.

Por otro lado, un 63 % de los encuestados percibe el desplazamiento como lento, lo que sugiere que la infraestructura vial no está preparada para manejar el flujo de tráfico en situaciones de crisis, lo que podría resultar en congestiones peligrosas y retrasos en la evacuación. Además, el 14 % considera que el desplazamiento es totalmente lento, reforzando la percepción negativa sobre la capacidad de la infraestructura vial para facilitar una evacuación o respuesta rápida.

La percepción de un desplazamiento lento afecta la resiliencia comunitaria, lo cual coincide con Zhang y Wang (2016), quienes indican que la percepción de ineficiencia en

Figura 6. Tiempo de desplazamientos por vialidades a zonas seguras y refugios



La Figura muestra las percepciones en porcentajes de los encuestados sobre su participación con respecto a los desplazamientos en caso de emergencia para solucionar los impactos en las vialidades

la infraestructura vial puede disminuir la confianza en las autoridades y en los sistemas de gestión de emergencias, lo que puede agravar los efectos de un desastre. Por su parte, Rezvani y colaboradores (2024) señalan que la planificación urbana debe considerar tanto la capacidad técnica de las vialidades como la percepción de su funcionalidad. Si los ciudadanos creen que las rutas de evacuación son ineficaces, es probable que no las utilicen, resultando en consecuencias fatales durante un evento hidrometeorológico.

En relación con el tiempo en que se da atención posterior a un impacto, el 35 % de los encuestados percibe que los daños tras un fenómeno hidrometeorológico se atienden en 1 a 2 días, y muestra confianza en la gestión de emergencias. El 23 % considera que la atención tarda entre 3 y 4 días, lo que refleja una percepción moderada de eficiencia. Sin embargo, el 42 % opina que la atención tarda más de 5 días, lo que sugiere una respuesta inadecuada y lenta, afectando la seguridad y movilidad durante y después de un impacto climático.

La percepción de un tiempo de respuesta prolongado tiene serias implicaciones para la resiliencia de las comunidades. De acuerdo con Ji y colaboradores (2022), una respuesta lenta a los daños en la infraestructura vial puede resultar en una mayor vulnerabilidad de las comunidades ante futuros desastres. Esto se debe a que las vías dañadas pueden obstaculizar el acceso a servicios de emergencia y complicar la evacuación de la población. Además, Kieu y Senanayake (2023) argumentan que la percepción de ineficiencia en la atención de daños puede erosionar la confianza de la comunidad en las autoridades responsables de la gestión de emergencias. Esta falta de confianza puede llevar a una menor cooperación de la comunidad durante situaciones críticas, lo que podría agravar los efectos de un desastre.

Transformación

La transformación se refiere a la capacidad de un sistema para modificar radicalmente sus propiedades y comportamientos cuando las condiciones se vuelven inviables debido a un fenómeno. En esta dimensión, se mostraron las variables relacionadas con las obras realizadas para reducir riesgos y afectaciones, así como los programas gubernamentales que fomentan la prevención y rehabilitación del riesgo de desastre en las vialidades ante los efectos del cambio climático, y la capacitación sobre cómo actuar antes, durante y después de un evento.

Se encontró que el 88 % de las personas percibe que no se han realizado obras para disminuir el riesgo y las afectaciones a las vialidades, mientras que solo el 12 % percibe que sí se han realizado, lo que refleja una desconexión significativa entre las acciones de infraestructura y la percepción pública; esta situación puede estar asociada al inadecuado manejo de los flujos de información. En ese sentido Agrawal y colaboradores (2020) externan que

la resiliencia no solo implica la capacidad de resistir y recuperarse de eventos adversos, sino también la adaptación y mejora continua de las infraestructuras para enfrentar futuros desafíos.

El 41 % de los encuestados ha recibido capacitación sobre acciones a realizar antes, durante y después de una contingencia, mientras que el 59 % no ha recibido dicha preparación. Esta falta de capacitación condiciona la resiliencia de las vialidades y la seguridad de la población. En opinión de Liu y Duan (2023), invertir en la preparación comunitaria es fundamental para minimizar daños y salvar vidas en emergencias. Por ello, la educación sobre rutas de evacuación, procedimientos de seguridad y acciones de mitigación fortalece la resiliencia ante fenómenos hidrometeorológicos.

Conclusiones

Los resultados indican que la población no está preparada para responder adecuadamente ante emergencias. Este estudio reveló la situación crítica de las vialidades de Chetumal, Quintana Roo, México, destacando la necesidad de atención e intervenciones para mejorar la infraestructura y mitigar los efectos negativos del cambio climático. Es esencial priorizar el mantenimiento preventivo y proactivo de las vialidades para asegurar su resiliencia. La inversión en gestión adecuada no solo incrementará la seguridad y funcionalidad, sino que también facilitará la adaptación a largo plazo de las ciudades ante desafíos climáticos.

Además, la resiliencia de las vialidades frente a los efectos del cambio climático se ve comprometida por la falta de un programa de mantenimiento, lo que indica la necesidad de mejorar las prácticas de gestión para infraestructuras. Se enfatiza la importancia de priorizar la resiliencia ante el cambio climático, así como la necesidad de mejorar la comunicación y educación sobre rutas de evacuación para fortalecer la resiliencia comunitaria. Invertir en la preparación de la población es crucial para salvar vidas y minimizar daños en situaciones de emergencia.

Asimismo, aumentar el conocimiento sobre rutas alternas de evacuación fortalecerá la resiliencia ante fenómenos hidrometeorológicos. La inversión en comunicación, educación y coordinación, junto con el mantenimiento adecuado de las vialidades, contribuirá a la adaptación de las ciudades al cambio climático. Por último, la percepción negativa sobre el tiempo de atención a los daños en las vialidades plantea desafíos significativos, y abordar estas preocupaciones mediante mejoras en capacitación y comunicación es esencial para garantizar respuestas efectivas ante los impactos del cambio climático, como son los fenómenos hidrometeorológicos.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por el financiamiento posdoctoral otorgado a la primera autora para llevar a cabo el proyecto, convocatoria 2022.

Referencias

- Agrawal, N., Elliott, M., & Simonovic, S. P. (2020). Risk and resilience: a case of perception versus reality in flood management. *Water*, 12(5), 1254.
- Aydin, N. Y., Duzgun, H. S., Heinemann, H. R., Wenzel, F., & Gnyawali, K. R. (2018). Framework for improving the resilience and recovery of transportation networks under geohazard risks. *International journal of disaster risk reduction*, 31, 832-843.
- Begum, S., Fisher, R. S., Ferranti, E. J., & Quinn, A. D. (2022). Evaluation of Climate Change Resilience of Urban Road Network Strategies. *Infrastructures*, 7(11), 146.
- Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M. et al. (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake Spectra*, 19(4), 733-752.
- Capacci, L., Biondini, F., & Frangopol, D. M. (2022). Resilience of aging structures and infrastructure systems with emphasis on seismic resilience of bridges and road networks. *Resilient Cities and Structures*, 1(2), 23-41.
- Castillo V.L. (2009). *Urbanización, problemas ambientales y calidad de vida urbana*. México, D.F. Plaza y Valdés.
- Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA). (2015). *Informe anual de actividades*. Gobierno del estado de Quintana Roo.
- Davis, C. A., Johnson, L. A., Kiremidjian, A., Kwasinski, A., O'Rourke, T. D., Stanley, E., et al. (2024). *Initial Framework to Design Lifeline Infrastructure for Post-Earthquake Functional Recovery*. Volume 1.
- Douglas, M. (1996). *La aceptabilidad del riesgo según las ciencias sociales*. Paidós.
- Douglas, M. (2013). *Risk and blame*. Routledge.
- Douglas, M., & Wildavsky, A. (1983). *Risk and culture: An essay on the selection of technological and environmental dangers*. Univ. of California Press.
- Ducci, M. (2003). *Introducción al urbanismo: conceptos básicos*. Ed. Trillas.
- Gallego-López, C.; Essex, J. (with input from DFID). (2016). *Designing for infrastructure resilience*. Evidence on Demand, UK 22 p.
- Harrison, A. M., Heaton, M., & Entwistle, D. C. (2023). Increasing road network resilience to the impacts of ground movement due to climate change: a case study from Lincolnshire, UK. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 56(3), qjeh2023-002.
- INEGI. (2020). *Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2017*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Islam, M. N., van Amstel, A., Islam, M. M., Shahin, M., Miraj, M., Ghosh, S., et al. (2021). Climate Change Impacts and Mitigation Approach: Coastal Landscape, Transport, and Health Aspects. *Bangladesh II: Climate Change Impacts, Mitigation and Adaptation in Developing Countries*, 41-101.
- Ji, T., Yao, Y., Dou, Y., Deng, S., Yu, S., Zhu, Y., et al. (2022). The impact of climate change on urban transportation resilience to compound extreme events. *Sustainability*, 14(7), 3880.
- Kieu, M., & Senanayake, G. (2023). Perception, experience and resilience to risks: a global analysis. *Scientific Reports*, 13(1), 19356.
- Lavell, A. (2000). *Desastres y desarrollo: hacia un entendimiento de las formas de construcción social del riesgo: el caso del huracán Mitch en Centroamérica*. BID.
- Lavell, A. (2009). *La gestión del riesgo de desastres: un enfoque basado en procesos*. Comunidad Andina.
- Lavell, A., Narváez, L., & Pérez, R. (2009). Vulnerabilidad y riesgo: una mirada desde la gestión del riesgo de desastres. En A. Lavell et al. (Eds.). *Gestión del riesgo de desastres en América Latina* (pp. 15-30). Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED).
- Liu, R., & Duan, W. (2023). Assessing perceptions of resilience: The understanding from network analysis. *Frontiers in Public Health*, 11, 1017871.
- López Montejó, G. D. (2016). *Sistema integral de transporte urbano para la zona metropolitana de Chetumal* (Master's thesis, Universidad de Quintana Roo).
- Lopez, and E. L. Diaz. 2019. "Education and building capacity for improving resilience of coastal infrastructure." In *Proc., 126th Annual Conf. American Society for Engineering Education*. Washington, DC: American Society for Engineering Education.
- Martín, B., Ortega, E., Cuevas-Wolliizner, R., Ledda, A., & De Montis, A. (2021). Assessing road network resilience: An accessibility comparative analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 95, 102851.
- Martínez Méndez, A. (2020). *Resiliencia de la infraestructura estratégica urbana ante el impacto de huracanes* (Master's thesis, Universidad de Quintana Roo).
- Municipio de Othón, P. B., & Roo, Q. (2018). *Programa de Desarrollo Urbano de Chetumal, Calderitas, Subteniente López, Huay-Pix y Xul-Há*. https://www.sema.qroo.gob.mx/FichasPOELsQR/33_opb.pdf
- Municipio de Othón, P. B., & Roo, Q. (2022). *Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024*.
- Municipio de Othón, P. B., & Roo, Q. (2023). *Segundo informe de gobierno 2021- 2024*.
- Murugesan, V. (2020). *Understanding Perceptions of Climate Change and Resilience in the City of Courtenay, British Columbia* (Master's thesis, University of Waterloo).
- O'Donnell, E. C., Gosling, S. N., Netusil, N. R., Chan, F. K. S., & Dolman, N. J. (2021). Perceptions of blue-green and grey infrastructure as climate change adaptation strategies for urban water resilience. *Journal of the British Academy*, 9(s9), 143-182.
- O'Connor, R. E., Bard, R. J., & Fisher, A. (1999). Risk perceptions, general environmental beliefs, and willingness to address climate change. *Risk Analysis*, 19(3), 461-471.
- Oliver, D., and M. Haney. (2017). *Curriculum development for teaching critical infrastructure protection*. Washington, DC: USDOE. Pagán-Trinidad, I., R. R.
- ONU, U. (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015 2030*. Recuperado el, 28 agosto de 2024.
- O'Rourke, T. D. (2007). Critical infrastructure, interdependencies, and resilience. *Bridge-Washington-National Academy of Engineering*, 37(1), 22.

- O'Rourke, T. D., Jeon, S. S., Toprak, S., Cubrinovski, M., Hughes, M., van Ballegooy, S., et al. (2014). Earthquake response of underground pipeline networks in Christchurch, NZ. *Earthquake Spectra*, 30(1), 183-204.
- Paige-Green, P., & Verhaeghe, B. M. (2018). Making Africa's roads more resilient to climate change. 2018 SARF/IRF/PIARC Regional Conference for Africa, 9-11 October 2018, Durban, South Africa.
- Postigo, J. C. (2014). Perception and Resilience of Andean Populations Facing Climate Change. *Journal of Ethnobiology*, 34(3), 383-400. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-34.3.383>
- Ranjan, E. S., & Abenayake, C. C. (2014). A study on community's perception on disaster resilience concept. *Procedia Economics and Finance*, 18, 88-94.
- Reuter, C., & Spielhofer, T. (2017). Towards social resilience: A quantitative and qualitative survey on citizens' perception of social media in emergencies in Europe. *Technological Forecasting and Social Change*, 121, 168-180.
- Rezvani, S. M., Silva, M. J. F., & de Almeida, N. M. (2024). Urban Resilience Index for Critical Infrastructure: A Scenario-Based Approach to Disaster Risk Reduction in Road Networks. *Sustainability*, 16(10), 4143.
- Rokooei, S., Vahedifard, F., & Belay, S. (2022). Perceptions of civil engineering and construction students toward community and infrastructure resilience. *Journal of Civil Engineering Education*, 148(1), 04021015.
- Rozenberg, J., Briceno-Garmendia, C., Lu, X., Bonzanigo, L., & Moroz, H. (2017). *Improving the resilience of Peru's road network to climate events*. The World Bank.
- Ruszczyk, H. (2017). *The everyday and events: Understanding risk perceptions and resilience in urban Nepal* (Doctoral dissertation, Durham University).
- Sara, L. M., Jameson, S., Pfeffer, K., & Baud, I. (2016). Risk perception: The social construction of spatial knowledge around climate change-related scenarios in Lima. *Habitat International*, 54, 136-149.
- Soleimani, N., Davidson, R. A., Davis, C., O'Rourke, T. D., & Nozick, L. K. (2021). Multihazard scenarios for regional seismic risk assessment of spatially distributed infrastructure. *Journal of Infrastructure Systems*, 27(1), 04021001.
- Wilches-Chaux, G. (2005). Fundamentos éticos de la gestión del riesgo. *Nómadas (Col)*, (22), 48-61.
- Zhang, W., & Wang, N. (2016). Resilience-based risk mitigation for road networks. *Structural Safety*, 62, 57-65.
- Zhou, H., Taal, A., Koulouzis, S., Wang, J., Hu, Y., Suciu, G., et al. (2018). Dynamic real-time infrastructure planning and deployment for disaster early warning systems. In *Computational Science-ICCS 2018: 18th International Conference, Wuxi, China, June 11-13, 2018, Proceedings, Part II 18* (pp. 644-654). Springer International Publishing.



Caracterización de incendios forestales en el estado de Veracruz, México (2022-2024)

Characterization of Wildfires in the State of Veracruz, Mexico (2022-2024)

Ana Cecilia Travieso Bello^{1*}
Víctor Soto²

¹Programa de Geografía, Facultad de Economía, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México

²Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México

*Autora de correspondencia: atravieso@uv.mx

Editor encargado: Dr. Oscar Frausto Martínez

Recibido: 15 de agosto de 2024 - Aceptado: 30 de septiembre de 2024

Resumen

El manejo integral del fuego requiere como insumo esencial una caracterización de la frecuencia de los incendios forestales, así como de sus causas y afectaciones. Este trabajo analiza los incendios forestales en las primeras 24 semanas de los años 2022, 2023 y 2024, en el estado de Veracruz, con énfasis en la cuenca del río La Antigua. Los registros de los incendios, sus causas y afectaciones se obtuvieron del Concentrado Nacional de Incendios Forestales. Los datos de temperatura y precipitación corresponden a siete estaciones meteorológicas automáticas y se compararon con las normales obtenidas de las estaciones climatológicas convencionales (1981 a 2010). Se encontró un incremento en la superficie afectada por incendios forestales en el Estado de Veracruz y en la cuenca estudiada. Las principales causas son antropogénicas, dominando las actividades agrícolas, desconocidas e intencionales. Se registraron afectaciones en siete áreas naturales protegidas, así como en distintos tipos de vegetación, tanto en ecosistemas adaptados al fuego como sensibles al fuego. El bosque mesófilo de montaña es el ecosistema que potencialmente podría sufrir mayores daños por este fenómeno. En la cuenca del río La Antigua se encontraron afectaciones en nueve municipios y en ocho tipos de vegetación. El mayor número de incendios se registró en los municipios de mayor altitud, sin embargo, la superficie afectada varía ampliamente por municipio y por año. Además, se observó un incremento de la temperatura y el déficit pluvial, en comparación con las normales; esto podría estar propiciando incendios forestales más severos. Por tanto, se requieren políticas públicas que integren las perspectivas social, económica y ecológica para el manejo del fuego en áreas forestales.

Palabras clave: Afectaciones, Tipos de vegetación, Temperatura, Precipitación, Cuenca del río La Antigua

Abstract

Integrated fire management requires as an essential input a characterization of the frequency of wildfires, as well as their causes and effects. This work analyzes wildfires in the first 24 weeks of the years 2022, 2023 and 2024, in the state of Veracruz, with emphasis on the La Antigua river basin. The records of the wildfires, their causes and affectations were obtained from the National Forest Fire Concentrate. Temperature and precipitation data correspond to seven automatic weather stations and were compared with the normal data obtained from conventional weather stations (1981-2010). An increase in the area affected by wildfires was found in the State of Veracruz and in the basin studied. The main causes are anthropogenic, dominated by agricultural activities, unknown and intentional. Seven Natural Protected Areas were affected, as well as different types of vegetation, both fire-adapted and fire-sensitive ecosystems. Tropical montane cloud forest is the ecosystem that could potentially suffer the greatest damage from this phenomenon. In the La Antigua river basin, eight

types of vegetation were affected in nine municipalities. The highest number of wildfires was recorded in the municipalities at higher altitudes; however, the area affected varies widely by municipality and by year. In addition, there was an increase in temperature and rainfall deficit, compared to normal, which could be leading to more severe wildfires. Therefore, public policies that integrate social, economic and ecological perspectives are required for fire management in forest areas.

Keywords: Wildfire damage, Vegetation types, Temperature, Precipitation, La Antigua River Basin

Introducción

Los incendios son un factor de perturbación natural en algunos ecosistemas, formando parte de su dinámica. Se ha reportado que la exclusión del fuego puede modificar la estructura y la composición de especies de los bosques de coníferas, degradando su potencial de resiliencia a perturbaciones futuras relacionadas con los incendios, los insectos y la sequía (Bryant et al., 2019).

Por otra parte, los incendios se consideran la tercera causa en la pérdida y degradación de grandes superficies forestales (Gutiérrez et al., 2015). Estos pueden ocasionar el deterioro ambiental de los ecosistemas, según las condiciones en las que se presente (Jardel et al., 2009).

La ocurrencia de incendios forestales se relaciona con variables climáticas, ambientales, topográficas y socioeconómicas (Rojas et al., 2022). En México, los factores que contribuyen a su origen y propagación son la acumulación y disponibilidad de combustibles, los cambios de uso del suelo, el empleo inadecuado del fuego, la poca cultura de prevención, la limitada capacidad de respuesta para la atención de los incendios forestales dañinos, así como la escasa información técnica y científica para la toma de decisiones (Conafor, 2020).

Las actividades humanas han introducido el fuego en todos los paisajes de los Estados Unidos de América (EUA), modificando la frecuencia, estacionalidad, superficie quemada y costos asociados, con pérdidas importantes en las viviendas. Esta situación se combina con condiciones más cálidas y secas, incrementando la vulnerabilidad de las comunidades a los incendios provocados por el hombre (Mietkiewicz et al., 2020).

En varios países del continente americano se ha documentado una relación positiva entre la disminución de la precipitación (sequía) y la ocurrencia de incendios (Cerano-Paredes et al., 2015; Cerano-Paredes et al., 2016; Cerano-Paredes et al., 2021; Sánchez et al., 2022; Samamé, 2023). El incremento de la temperatura puede reducir el intervalo de tiempo entre los incendios, lo que limita la capacidad de regeneración del ecosistema y reduce su resiliencia (Turner et al., 2019). Esto podría modificar de manera significativa la dinámica de los ecosistemas y su valor económico.

Por ejemplo, en el oeste de EUA el cambio climático ha incrementado la intensidad de los incendios y se ha registrado baja disponibilidad de semillas de especies de coníferas dominantes de baja altitud. Esto reduce la probabilidad de regeneración después de los incendios y las oportunidades para que las plántulas se establezcan (Davis et al., 2019). Otro caso en EUA es la reducción del valor económico de las tierras dedicadas a la producción de madera, en aproximadamente un 10 %, debido al aumento de los grandes incendios forestales y a la sequía de las dos últimas décadas (Wang y Lewis, 2024).

El incremento de los incendios forestales tiene impactos ecológicos y socioeconómicos, entre los cuales destacan pérdidas de la cobertura arbórea, contaminación del aire por aumento de las emisiones de dióxido de carbono, erosión del suelo, alteraciones en el microclima, cambios en el ciclo hidrológico, migración de especies de fauna silvestre, invasión de especies exóticas y disminución de la productividad de la tierra (Samamé, 2023).

Actualmente, en México, los incendios forestales aportan 19 % de las emisiones de dióxido de carbono a nivel nacional, lo que supera significativamente al aporte de la deforestación (Corona-Núñez et al., 2020). Por tanto, tienen una contribución importante al cambio climático.

Se espera en la próxima década un incremento en el nivel medio de emisiones anuales directas de carbono de los incendios forestales, con valores más críticos en el escenario extremo RPC 8.5 del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (Ponomarev et al., 2021).

Los efectos del cambio climático global y regional, unido a los cambios de uso del suelo, podrían considerarse la mayor amenaza para la resiliencia de los ecosistemas, ya que alteran los patrones naturales de ocurrencia de los incendios forestales, incrementando su frecuencia e intensidad. En consecuencia, transforman la mayoría de los ecosistemas, disminuyen su biodiversidad y comprometen su capacidad productiva (Del Campo y Bernal-Toro, 2010; Hartung et al., 2021).

El manejo integral del fuego es fundamental para la conservación y protección de los ecosistemas, y para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero ocasionadas por los incendios forestales. Dicho manejo requiere como

insumo una caracterización de la frecuencia de los incendios forestales, así como de sus causas y afectaciones. Esta información generalmente se obtiene mediante registros en campo y análisis satelital (Galván y Magaña, 2020, Neger y Manzo-Delgado, 2021). Sin embargo, el análisis satelital no permite diferenciar los incendios forestales de las quemadas agropecuarias (Thompson y Morrison, 2020). Esto es relevante debido a que las quemadas agropecuarias se realizan en terrenos dedicados a actividades agrícolas o pecuarias, mientras que los incendios forestales ocurren en áreas de vegetación natural, seminatural y en terrenos forestales.

El estado de Veracruz registra 18 tipos de vegetación, por tanto, cuenta con una alta diversidad de comunidades vegetales (Gómez-Pompa, 1978). Esto contrasta con la cobertura de vegetación natural más baja del país (18 %) y la dominancia de las actividades agropecuarias (77 %) en el territorio (Semarnat, 2019). Además, se encuentra expuesto de manera recurrente a los incendios forestales (Gobierno de México, 2024) y destaca a nivel nacional por el porcentaje de municipios con alto grado de vulnerabilidad al cambio climático (González et al., 2021). Sin embargo, no se han realizado estudios detallados de los incendios forestales a nivel estatal; solo se cuenta con algunas investigaciones a nivel local, principalmente en el sur de la entidad (Cerano-Paredes et al., 2021; Neger, 2021; Neger y Manzano-Delgado, 2021; Neger et al., 2023).

Con base en lo antes expuesto, este trabajo tiene por objetivo caracterizar los incendios forestales y sus posibles causas en el estado de Veracruz, con énfasis en la cuenca del río La Antigua. El periodo analizado (2022-2024) corresponde a la disponibilidad de información en el Concentrado Nacional de Incendios Forestales (CNIF). La cuenca del río La Antigua destaca por el uso agrícola y como fuente principal de abastecimiento de agua a las ciudades de Xalapa y Coatepec (Pereyra et al., 2011). Actualmente registra los municipios con mayor número de incendios en la entidad (Gobierno de México, 2024). Además, los escenarios de cambio climático muestran la disminución de la precipitación (Monterroso et al., 2007) y el incremento de la evapotranspiración real (Pereyra et al., 2011) en dicha cuenca. Por tanto, bajo estos escenarios podrían incrementarse la frecuencia e intensidad de los incendios forestales.

Metodología

El trabajo se realizó en el estado de Veracruz, con énfasis en la cuenca del río La Antigua, debido al alto número de incendios registrados en la misma. La vegetación natural de esta cuenca incluye bosque de coníferas, bosque de encino, bosque mesófilo de montaña, manglares, selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia, que en conjunto cubren 49.54 % del territorio. La agricultura y los pastizales

para la actividad pecuaria corresponden al 28.13 % y 17.29 %, respectivamente. Los principales cultivos son café, maíz, caña, limón, mango y papa. La temperatura media anual de la cuenca oscila entre 4.9 a 27.3 °C, los valores mayores se registran de abril a junio. La precipitación media anual es de 1 522 mm y los valores más altos ocurren de junio a septiembre (Ávila-García et al., 2023).

Se obtuvieron los datos correspondientes a las primeras 24 semanas de los años 2022, 2023 y 2024 del CNIF del Gobierno de México (2024). Cabe mencionar que el CNIF no cuenta con datos disponibles previos al año 2022, por tanto, el trabajo se limitó al periodo 2022-2024. Se analizaron las primeras 24 semanas, que corresponde a la época de sequías, porque la mayoría de los incendios en México y en Veracruz se registran en esta época del año (Cerano-Paredes et al., 2021).

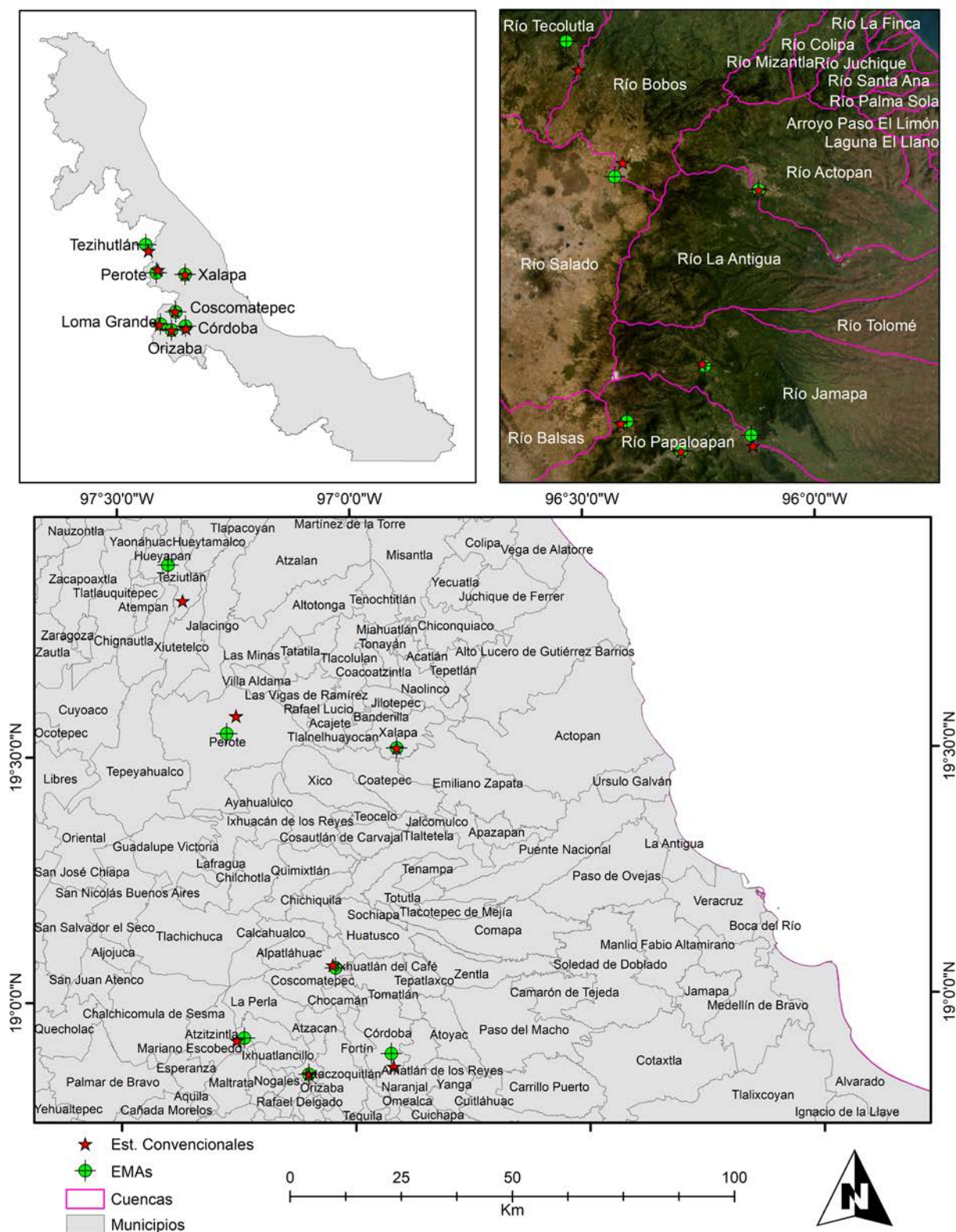
Se analizaron las variables siguientes: número de incendios forestales, afectaciones en superficie, tipos de vegetación, áreas naturales protegidas (solamente las de competencia federal) y municipios, así como las posibles causas de los incendios forestales.

Se eligieron las estaciones meteorológicas automáticas (EMA), propiedad del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), más cercanas al área de estudio (**Tabla 1, Figura 1**), para obtener datos de temperatura y precipitación durante el periodo de 2022 al primer semestre del 2024, con registros cada 10 minutos. La ventaja de los datos de las EMA radica en que a través de la página oficial del SMN https://smn.conagua.gob.mx/es/?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=102 se pueden obtener datos en tiempo real. Sin embargo, existen periodos de intermitencia en las comunicaciones, que en ocasiones impiden contar con series de datos completas. Debido a lo anterior, algunas de las estaciones empleadas fueron útiles para ciertos periodos dentro del rango temporal de interés (**Tabla 1**).

Tabla 1. Estaciones meteorológicas automáticas utilizadas y datos disponibles por mes y por año

EMA	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)	Meses con información por año		
				2022	2023	2024
Teziutlán	-97.39066	19.88800	1562	12	12	4
Perote	-97.26838	19.54516	2406	12	12	4
Xalapa	-96.90364	19.51250	1367	3	0	0
Coscomatepec	-97.03689	19.07128	1491	6	0	0
Loma Grande	-97.23694	18.92527	2707	1	12	4
Córdoba	-96.92310	18.89006	835	12	12	4
Orizaba	-97.09905	18.85169	1231	8	0	0

Figura 1. Distribución de las estaciones climáticas convencionales y las EMA



Con los registros diarios de cada EMA, se promedió la temperatura de cada mes y se sumó la precipitación diaria registrada para obtener la precipitación total acumulada mensual. Estos datos se compararon con las normales climatológicas del lugar, que se obtuvieron de los registros de 30 años de temperatura y precipitación de las estaciones climatológicas convencionales (ECC), propiedad del SMN y disponibles en el portal oficial <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>. Se seleccionaron las ECC más cercanas a las EMA y con condiciones de altitud lo más semejante posible, para un análisis comparativo más preciso (Tabla 2, Figura 1). Debido a que la información de las ECC no está actualizada, se utilizaron las normales climatológicas 1981-2010 (SMN, 2024).

Tabla 2. Estaciones climáticas convencionales para la comparación con las EMA

Estación	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)	EMA para comparar
Teziutlán	-97.36000	19.81527	1964	Teziutlán
Perote	-97.24777	19.58083	2392	Perote
Xalapa	-96.90388	19.51194	1360	Xalapa
Coscomatepec	-97.04610	19.07170	1530	Coscomatepec
Paso Carretas	-97.25250	18.92027	2887	Loma Grande
San Miguelito	-96.91805	18.86388	781	Córdoba
Orizaba	-97.10000	18.85000	1237	Orizaba

A partir de los datos de las EMA y de las ECC se elaboraron climogramas para comparar las condiciones ambientales que imperaron en el periodo 2022-2024 con los valores normales (1981 a 2010). Además, se calculó la desviación mensual de la temperatura y la precipitación, por estación y año de análisis.

Resultados

Incendios forestales en el Estado de Veracruz (2022-2024)

El número de incendios forestales en el estado de Veracruz, correspondiente a las primeras 24 semanas del año, disminuyó en el periodo 2022-2024. Lo mismo ocurrió con el número de municipios afectados, que corresponde cada año al menos al 14 % del total. En contraste, la superficie incendiada en este periodo casi se cuatuplicó, afectando diversos tipos de bosques, selvas y matorrales, así como siete áreas naturales protegidas (Tabla 3).

Tabla 3. Incendios forestales y sus afectaciones en el estado de Veracruz (2022-2024)

Variables	Años		
	2022	2023	2024
Número de incendios	246	167	164
Número de municipios afectados	43	38	30
Superficie afectada (hectáreas)	2209.81	1388.86	8369.43
Tipo de vegetación afectada	BE, BEP, BO, BP, BPE, BMM, SAP, SBC, SBP, SBSC, SMC, SMP, T	BC, BE, BEP, BO, BP, BPE, BMM, MDR, SAP, SBC, SBP	BE, BEP, BO, BP, BPE, BMM, MC, MDR, SAP, SBC
Áreas naturales protegidas afectadas	Cañón del Río Blanco, Cofre de Perote, Los Tuxtlas, Metlac – Río Blanco, Pico de Orizaba	Cañón del Río Blanco, Cofre de Perote, Los Tuxtlas, Pico de Orizaba, San Felipe II	Cañón del Río Blanco, Cofre de Perote, Los Tuxtlas, Metlac – Río Blanco, Pico de Orizaba, San Pedro en el Monte

Fuente: datos del Gobierno de México (2024)

SBC: selva baja caducifolia, BP: bosque de pino, BEP: bosque de encino-pino, BPE: bosque de pino-encino, BO: bosque de oyamel, MDR: matorral desértico rosetófilo, BMM: bosque mesófilo de montaña, MC: matorral crasicaule, SAP: selva alta perennifolia, SMC: selva mediana caducifolia, SMP: selva mediana perennifolia, SBP: selva baja perennifolia, SBSC: selva baja subcaducifolia, BC: bosque cultivado, T: tular

Los municipios del estado de Veracruz con 10 o más incendios forestales en al menos 1 año, durante el periodo 2022-2024, fueron Perote, Ayahualulco, Huayacocotla, Maltrata, Mecayapan, Soteapan y Las Vigas de Ramírez, de los cuales tres pertenecen a la cuenca del río La Antigua (Tabla 4).

Las posibles causas de los incendios forestales son diversas, dominaron en el periodo de estudio las actividades agrícolas, causas desconocidas e incendios intencionales. En menor medida, se atribuyeron a los fumadores, las fogatas, las actividades pecuarias y otras actividades productivas. Se observó en el periodo de estudio un incremento importante de los incendios intencionales (Tabla 4).

Incendios forestales en la cuenca del río La Antigua (2022-2024)

En particular, en la cuenca del río La Antigua se observó un aumento en la frecuencia relativa de incendios forestales: se registraron 37.80 % del total en 2022 y 57.32 %, en 2024, que han afectado a ocho tipos de vegetación y nueve

Tabla 4. Posibles causas de los incendios forestales en el estado de Veracruz (2022-2024)

Posible causa de incendio	Número de incendios y porcentaje (%)		
	2022	2023	2024
Actividades agrícolas	67 (27.24)	40 (23.95)	33 (20.12)
Desconocidas	59 (23.98)	27 (16.17)	35 (21.34)
Intencional	22 (8.94)	32 (19.16)	45 (27.44)
Fumadores	36 (14.63)	8 (4.79)	20 (12.20)
Fogatas	27 (10.98)	21 (12.57)	6 (3.66)
Actividades pecuarias	9 (3.67)	14 (8.38)	5 (3.05)
Otras actividades productivas	13 (5.28)	8 (4.79)	10 (6.10)
Otras causas	13 (5.28)	17 (10.18)	10 (6.10)

Fuente: datos del Gobierno de México (2024)

municipios. Estos municipios se distribuyen en distintas partes de la cuenca, en un rango de altitud de 460 a 2591 m s. n. m.. El mayor número de incendios se registró en los municipios de mayor altitud; sin embargo, la superficie afectada varía ampliamente por municipio y por año (**Tabla 5**).

Las causas más frecuentes de los incendios forestales en la cuenca del río La Antigua son las actividades agrícolas, las causas desconocidas y las intencionales, coincidiendo con las mayores superficies afectadas. En contraste, las actividades pecuarias son menos frecuentes, pero afectan grandes superficies (**Tabla 6**).

La **Figura 2** muestra los climogramas de las siete EMA (letras “a” a “g”) analizadas para los 3 años de estudio, así como las normales climatológicas. Se observan diferencias entre las variables térmicas y pluviales de los años 2022 a 2024, con respecto a los valores normales.

La temperatura media muestra valores más altos en todas las estaciones con respecto a la normal 1981-2010 (línea verde). Esta situación es más evidente durante los meses del verano, donde se aprecian registros aún más altos que en

Tabla 5. Incendios forestales y sus afectaciones en los municipios de la cuenca del río La Antigua (2022-2024)

Municipio y altitud	Número de incendios Superficie afectada (hectáreas)			Tipo de vegetación afectada		
	2022	2023	2024	2022	2023	2024
Apazapan 460 m s. n. m.	2 94.32 ha	1 4.95 ha	2 27.66 ha	SBC	SBC	SBC
Emiliano Zapata 827 m s. n. m.	1 7.22 ha	1 19.22 ha	0 0	SBC	BE	---
Ixhuacán de los Reyes 916 m s. n. m.	4 373.69 h	3 86.9 ha	3 460.75 ha	BP, BEP, BMM	BP	BP
Acajete 2019 m s. n. m.	7 135.97 ha	3 3.61 ha	3 36.93 ha	BP, BE, BPE, BEP	BMM, BE, BPE	BPE, BEP, BMM
Xico 2 106 m s. n. m.	1 90.41 ha	0 0	3 151.84 ha	BP	---	BP, BEP
Calchualco 2146 m s. n. m.	1 32.26 ha	1 54.15 ha	3 248.91 ha	BP	BP	BP, BPE
Las Vigas de Ramírez 2438 m s. n. m.	4 1.77 ha	5 4.10 ha	10 5.49 ha	BP	BP	BP, BPE
Ayahualulco 2546 m s. n. m.	14 41.99 ha	12 99.80 ha	13 85.35 ha	BP, MDR, BPE, BEP, BO	BP, MDR, BPE	BP, MDR, BPE
Perote 2591 m s. n. m.	59 112.60 ha	57 275.94 ha	57 647.33 ha	BP, BPE, BEP, MDR	BP, BO, MDR	BP, BO, BPE, BEP
Total de incendios de la cuenca y porcentaje en relación con el total del estado	93 37.80 %	83 49.70 %	94 57.32 %			

Fuente: datos del Gobierno de México (2024)

SBC: selva baja caducifolia, BP: bosque de pino, BE: bosque de encino, BEP: bosque de encino-pino, BPE: bosque de pino-encino, BO: bosque de oyamel, MDR: matorral desértico rosetófilo, BMM: bosque mesófilo de montaña

Tabla 6. Posibles causas de los incendios forestales y superficie afectada en la cuenca del río La Antigua (2022-2024)

Posible causa de incendio	Número de incendios y porcentaje (%) Superficie afectada en hectáreas		
	2022	2023	2024
Actividades agrícolas	36 (38.71) 219.99 ha	24 (28.92) 123.42 ha	22 (23.40) 167.24 ha
Desconocidas	20 (21.51) 480.46 ha	12 (14.46) 260.93 ha	15 (15.96) 356.69 ha
Intencional	4 (4.30) 46.53 ha	22 (26.51) 52.68 ha	37 (39.36) 542.49 ha
Fogatas	17 (18.28) 24.45 ha	14 (16.87) 10.88 ha	2 (2.13) 23.00 ha
Fumadores	9 (9.68) 9.86 ha	1 (1.20) 0.70 ha	7 (7.45) 3.64 ha
Actividades pecuarias	3 (3.23) 100.87 ha	5 (6.02) 23.62 ha	3 (3.19) 460.75 ha
Otras actividades productivas	1 (1.08) 3.67 ha	1 (1.20) 0.24 ha	5 (5.32) 88.62 ha
Otras causas	3 (3.23) 4.38 ha	3 (3.61) 56.98 ha	3 (3.18) 21.83 ha

Fuente: datos del Gobierno de México (2024)

el resto de los meses (**Figura 2**). Lo anterior revela que la temporada de calor es marcadamente mayor que la normal, en comparación con el resto de las estaciones del año. Por su parte, la precipitación total indica un gran déficit pluvial respecto de los valores normales (columna azul), con la excepción de algunos meses: junio del 2024 en Loma Grande, julio y agosto del 2022 en Orizaba, junio del 2024 en Perote. La temporada de estiaje ha sido claramente mayor, incluso se registraron valores cercanos a cero en acumulación de lluvia (**Figura 2**). La desviación mensual de la precipitación total y de la temperatura media por estación y año de análisis (**Figuras 3 y 4**) muestran el comportamiento de ambas variables respecto de sus valores normales (líneas continuas). Se observa la combinación de temperaturas elevadas con una menor cantidad de lluvia, lo cual indica que la temporada de sequía de los años 2022 al 2024 ha sido severa.

Discusión

La mayoría de los incendios forestales registrados se originaron por actividades antropogénicas, lo que coincide con lo observado a nivel nacional, durante el periodo

1998 a 2019 (Conafor, 2020). Además, Galván y Magaña (2020) encontraron que esta es la causa principal en el sur del país, donde se ubica el estado de Veracruz. Dominan los incendios atribuidos a las actividades agrícolas y los intencionales, coincidiendo con los datos oficiales reportados y la percepción de las autoridades locales, en la sierra de Los Tuxtlas, Veracruz (Neger, 2021).

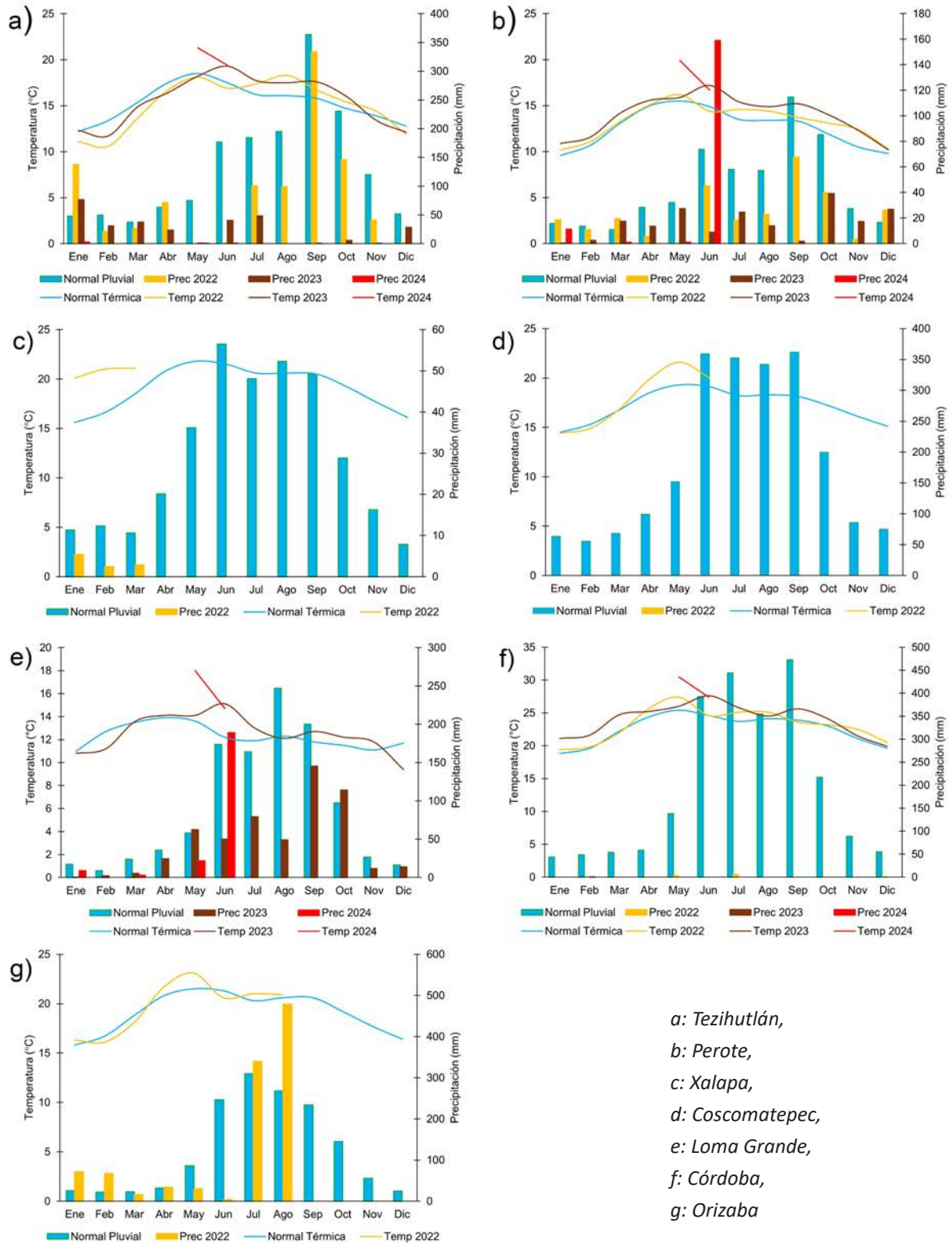
Se registró un incremento de la superficie afectada por incendios en el periodo 2022 a 2024. Sin embargo, se debe considerar que en México tanto el número de incendios, como la superficie afectada están subestimados (Corona-Núñez et al., 2020); en el caso de la cuenca del río La Antigua, las intensas olas de calor que se presentaron en los meses de abril a junio del 2024 y la escasa precipitación registrada, en comparación con las normales (**Figura 1, Tabla 5**), podrían estar propiciando incendios forestales más severos, en cuanto a superficie afectada. Esto ha sido documentado por varios autores (Cerano-Paredes et al., 2015; Cerano-Paredes et al., 2016; Cerano-Paredes et al., 2021), quienes encontraron una relación positiva entre la disminución de la precipitación (sequía) y la ocurrencia de incendios en Jalisco, Puebla y el Cofre de Perote.

El incremento de la temperatura y el déficit pluvial posiblemente se combinó con una mayor disponibilidad de combustibles, el uso inadecuado del fuego en diversas actividades productivas, así como la limitada capacidad de respuesta para la atención de los incendios forestales (Conafor, 2020).

Los municipios de mayor altitud, ubicados en las partes altas de la cuenca del río La Antigua, registraron pérdidas en la superficie en distintos tipos de bosques de coníferas y en el matorral desértico rosetófilo. Estos tipos de vegetación están adaptadas al fuego, exceptuando al bosque de oyamel. En los ecosistemas adaptados, el fuego tiene un papel esencial en la dinámica poblacional de la mayoría de sus especies, así como en el mantenimiento de sus procesos ecológicos (Del Campo y Bernal-Toro, 2010; Rodríguez, 2014; Conafor, 2024). Sin embargo, también influye la severidad del incendio forestal, pues cuando esta es moderada se favorece la composición, estructura y diversidad de la vegetación de los bosques templados (Cadena-Zamudio et al., 2022).

En contraste, los municipios de menor altitud registraron pérdida principalmente de la superficie de selva baja caducifolia, mientras que los que se encuentran en la zona de transición, registraron pérdidas de bosque mesófilo de montaña y de bosques de coníferas. En estas altitudes, el impacto del fuego es mayor, debido a que el bosque mesófilo de montaña y los distintos tipos de selva son sensibles al fuego. Esto significa que la mayoría de sus especies no cuentan con mecanismos que le permitan responder positivamente al fuego o recuperarse de este (Del Campo y Bernal-Toro, 2010; Conafor, 2024). Los incendios en ecosistemas sensibles pueden modificar la estructura del

Figura 2. Climogramas de las EMA utilizadas en el análisis



a: Tezihutlán,
b: Perote,
c: Xalapa,
d: Coscomatepec,
e: Loma Grande,
f: Córdoba,
g: Orizaba

Figura 3. Desviación mensual de la precipitación por estación y año de análisis

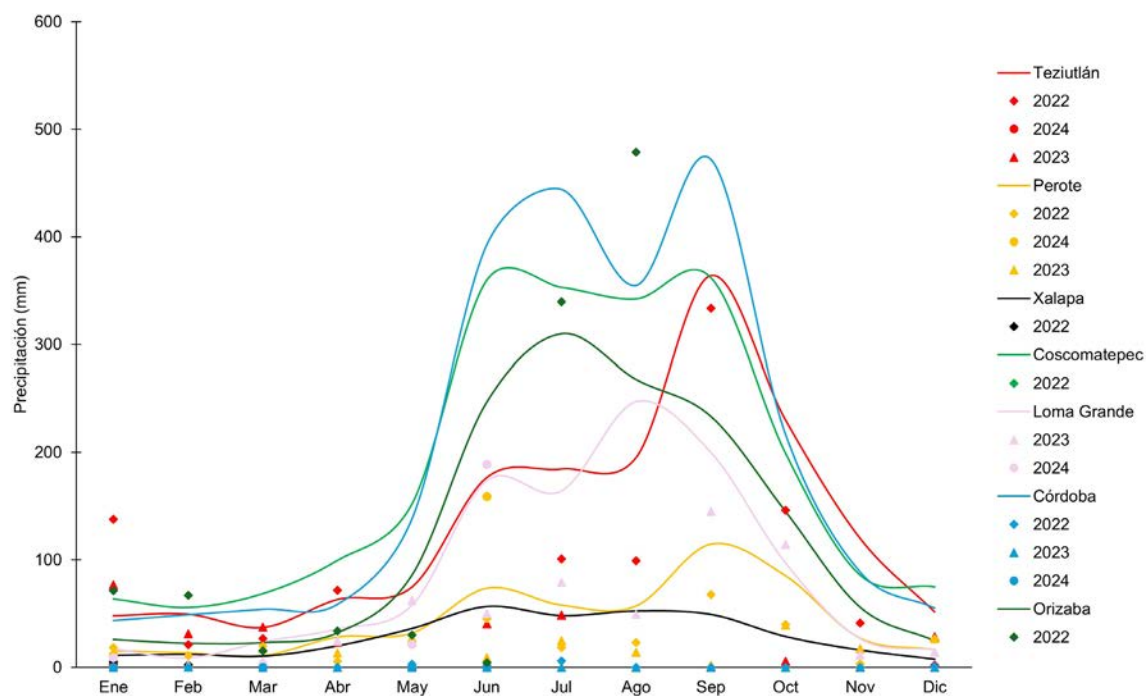
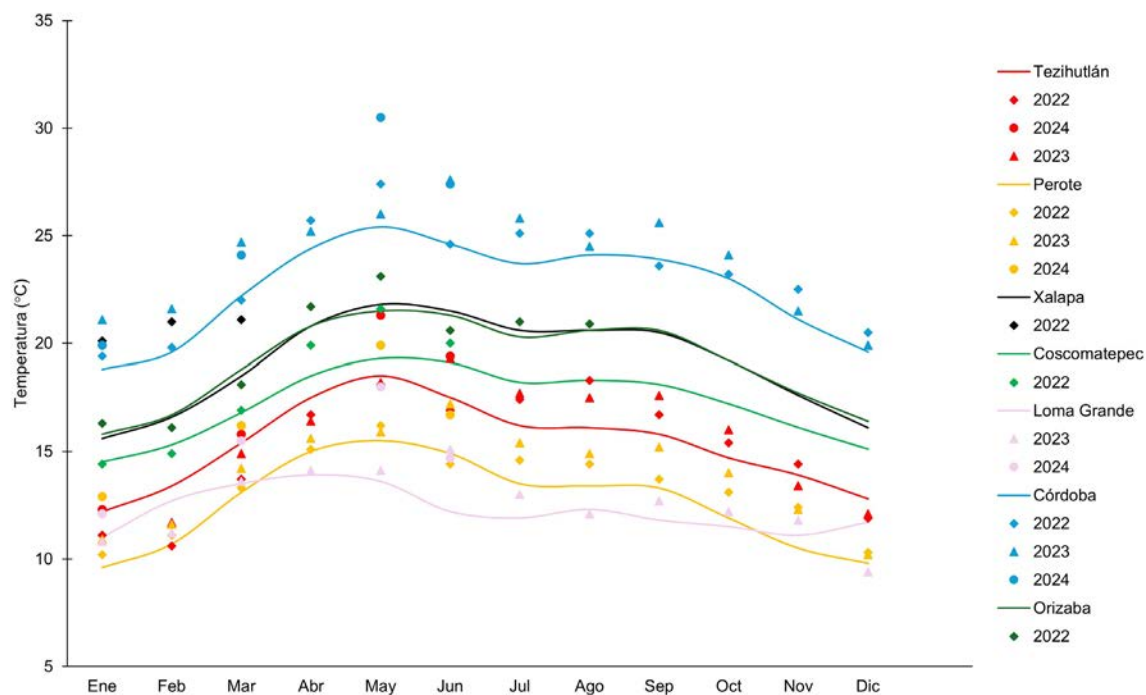


Figura 4. Desviación mensual de la temperatura por estación y año de análisis



ecosistema y la abundancia relativa de las especies a largo plazo, así como limitar el tamaño del ecosistema (The Nature Conservancy, 2004). En particular, el bosque mesófilo de montaña es el tipo de vegetación con mayor riqueza florística por unidad de área, 34.8 % de las plantas vasculares que presenta son endémicas (Villaseñor, 2010) y ocupa menos de 1 % del territorio nacional (Rosas et al., 2019). Por tanto, podría ser el ecosistema más impactado por este fenómeno.

Los incendios forestales han afectado a siete áreas naturales protegidas; sin embargo, estos datos podrían estar subestimados. Esto se debe a que, durante la temporada de alta incidencia de este fenómeno, la disponibilidad de recursos humanos es escasa y el acceso a algunos terrenos es limitado, lo que dificulta la delimitación de las zonas afectadas (Neger et al., 2023). Además, los registros del CNIF no consideran los espacios naturales protegidos de competencia estatal.

Conclusiones

Los incendios forestales en el Estado de Veracruz, durante el periodo 2022-2024, disminuyeron en número, pero aumentaron en superficie. Los municipios con mayor incidencia de incendios se ubican en la cuenca del río La Antigua. Si se considera que por lo general se subestima el área afectada por incendios forestales, el impacto real podría ser mayor.

Se registraron pérdidas de cobertura de diversos tipos de vegetación, con afectaciones en varias áreas naturales protegidas. Específicamente en las altitudes bajas e intermedias de la cuenca del río La Antigua, se contabilizaron afectaciones en ecosistemas sensibles al fuego, como son la selva baja caducifolia y el bosque mesófilo de montaña. Este último podría ser el ecosistema más vulnerable a este fenómeno, debido a su escasa cobertura a nivel nacional, unido a su alta biodiversidad y endemismo. En contraste, los municipios de la cuenca con mayor altitud tuvieron afectaciones en distintos tipos de bosques de coníferas y en el matorral desértico rosetófilo, que son ecosistemas adaptados al fuego (con excepción del bosque de oyamel), donde este tiene una función importante en la dinámica poblacional de las especies y en los procesos ecológicos.

La causa de los incendios forestales es multifactorial, se combinan factores ambientales, socioeconómicos y culturales, entre los cuales destacan el incremento de la temperatura y el déficit hídrico, el manejo inadecuado del fuego en las actividades agropecuarias y los incendios intencionales. Esta última causa se incrementó durante el periodo estudiado. Por otra parte, a futuro los efectos del cambio climático podrían aumentar la frecuencia y la intensidad de los incendios, dificultando su control.

El manejo del fuego plantea grandes retos, ya que implica la sensibilización y capacitación de la población,

el manejo ordenado del fuego agropecuario, el diseño de estrategias dirigidas a disminuir la alteración de los regímenes de fuego de los ecosistemas forestales, así como a la protección y conservación de los ecosistemas forestales y a la adaptación al cambio climático. Por tanto, se requieren políticas públicas integrales, que consideren las perspectivas social, económica y ecológica para mejorar la capacidad de respuesta ante este fenómeno.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim) del CONAHCYT, la cual generó espacios de discusión académica, que propiciaron la investigación colaborativa y retroalimentaron este trabajo.

Referencias

- Ávila-García, D., Hernández, L. E., Cicchini, F., Alvarado, J., Fernández-Montes de Oca, A. I. y López, S. M. (2023). *Planes de acción para el manejo integral de cuencas cuenca de río La Antigua*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza y Banco Mundial. https://fmcn.org/uploads/publication/file/pdf/Pamic_antigua.pdf
- Bryant, T., Waring, K., Sánchez, A. y Bradford, JB. (2019). A framework for quantifying resilience to forest disturbance. *Frontiers in Forest and Global Change*, 2(56), 1-14. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00056>
- Cadena-Zamudio, D. A., Flores-Garnica, J. G., Lomelí-Zavala, M. E. y Flores-Rodríguez, A. G. (2022). Does the severity of a forest fire modify the composition, diversity and structure of temperate forests in Jalisco? *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 28(1), 3-20. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.12.076>
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., Fulé, P., Yocom, L., Esquivel-Arriaga, G., et al. (2015). Historia de incendios en un bosque de pino de la sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Bosque (Valdivia)*, 36(1), 41-52. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000100005>
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Cervantes-Martínez, R., Esquivel-Arriaga, G., Guerra-de la Cruz, V., et al. (2016). Régimen histórico de incendios y su relación con el clima en un bosque de *Pinus hartwegii* al norte del estado de Puebla, México. *Bosque (Valdivia)*, 37(2), 389-399. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000200017>
- Cerano-Paredes, J., Iniguez, J. M., Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Cervantes-Martínez, R., Esquivel-Arriaga, G., et al. (2021). Effects of climate on historical fire regimes (1451–2013) in *Pinus hartwegii* forests of Cofre de Perote National Park, Veracruz, Mexico. *Dendrochronologia* 65, 125784. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125784>
- Conafor (Comisión Nacional Forestal). (2020). *Programa de Manejo del Fuego 2020-2024*. Conafor. <https://idefor.cnf.gob.mx/documents/829/download>.
- Conafor (Comisión Nacional Forestal). (2024). *Clasificación de los ecosistemas según su relación con el fuego*. Sistema

- Nacional de Información Forestal. <https://snif.cnf.gob.mx/incendios/>
- Corona-Núñez, R. O., Li, F. y Campo, J. E. (2020). Fires Represent an Important Source of Carbon Emissions in Mexico. *Advanced Earth and Space Science*, 34(12), 1-16. <https://doi.org/10.1029/2020GB006815>
- Davis, K. T., Dobrowski, S. Z., Higuera, P. E., Holden, Z. A., Veblen, T. T., Rother, M. T., et al. (2019). Wildfires and climate change push low-elevation forests across a critical climate threshold for tree regeneration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(13), 6193-6198. <https://doi.org/10.1073/pnas.1815107116>
- Del Campo Parra-Lara, A. y Bernal-Toro, F. H. (2010). Incendios de cobertura vegetal y biodiversidad: una mirada a los impactos y efectos ecológicos potenciales sobre la diversidad vegetal. *El Hombre y la Máquina*, 35, 67-81. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47817140008>
- Galván, L. y Magaña, V. (2020). Forest fires in Mexico: An approach to estimate fire probabilities. *International Journal of Wildland Fire*, 29(9), 753-763. <https://doi.org/10.1071/WF19057>
- Gobierno de México. (2024). *Concentrado Nacional de Incendios Forestales*. https://monitor_incendios.cnf.gob.mx/incendios_anp
- Gómez-Pompa, A. (1978). *Ecología de la Vegetación del Estado de Veracruz*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos.
- González Terrazas, D. I., Vermonden Thibodeau, A. y Gress Carrasco F. (2021). Municipios Vulnerables al Cambio Climático con base en los resultados del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. <https://www.cmic.org.mx/sectores/medioambiente/nacional/CC/Municipios%20Vulnerables%20al%20CC.pdf>
- Gutiérrez, G., Orozco, M. E., Ordóñez, J. A. y Camacho, J. M. (2015). Régimen y distribución de los incendios forestales en el Estado de México (2000 a 2011). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(29), 92-107. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/issue/view/17>
- Hartung, M., Carreño-Rocabado, G., Peña-Claros, M. y Van der Sander, M. T. (2021). Tropical dry forest resilience to fire depends on fire frequency and climate. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4, 1-18. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.755104>
- Jardel-Peláez, E., Alvarado-Celestino, E., Morfín-Ríos, J., Castillo-Navarro, F. y Flores-Garnica, J. (2009). Regímenes de incendios en ecosistemas forestales de México. En J. Flores-Garnica (Ed.), *Impacto ambiental de incendios forestales* (pp. 73-100). Mundi-Prensa, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Colegio de Postgraduados.
- Mietkiewicz, N., Balch J. K., Schoennagel, T., Leyk, S., Denis, L. A. y Bradley, B. A. (2020). In the line of fire: Consequences of human-ignited wildfires to homes in the U.S. (1992–2015). *Fire*, 3, 50. <https://doi.org/10.3390/fire3030050>
- Monterroso-Rivas, A. I., Conde-Álvarez, A. C., Gómez-Díaz, J. D. y López-García, J. (2007). Vulnerabilidad y riesgo en agricultura por cambio climático en la Región Centro del estado de Veracruz, México. *Zonas Áridas*, 11(1), 47-60. <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11%2000%20art03.pdf>
- Neger, C. (2021). Causas antrópicas de los incendios forestales en la sierra de los Tuxtlas, México. México. En E. Serna (Ed.), *Ciencia transdisciplinaria para el desarrollo y la supervivencia de la humanidad*. (pp. 376-393). Instituto Antioqueño de Investigación. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.5139646>
- Neger, C. y Manzo-Delgado, L. L. (2021). La evaluación de la gestión del riesgo de los incendios forestales en áreas naturales protegidas tropicales: el caso de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (México). *Cuadernos Geográficos*, 60(3), 95-128. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i3.16236>
- Neger, C., García-López, P., Manzo-Delgado, L. L. y Espinoza-Rodríguez, J. M. (2023). Monitoreo de incendios forestales a escala local: estudio de caso del ejido Mecayapan, México. *Bosque (Valdivia)*, 44(3), 519-533. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002023000300519>
- Pereyra, D., Cruz, D. G. y Pérez Sesma, J. A. A. (2011). La evapotranspiración Real (ETR) en la cuenca del río La Antigua, Veracruz: estado actual y ante escenarios de cambio climático. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (75), 37-50. <https://doi.org/10.14350/rig.29785>
- Ponomarev, E., Yakimov, N., Ponomareva, T., Yakubailik, O. y Conard, S.G. (2021). Current Trend of Carbon Emissions from Wildfires in Siberia. *Atmosphere*, 12(5), 559. <https://doi.org/10.3390/fire3030050>
- Rodríguez, D. A. (2014). *Incendios de vegetación: su ecología, manejo e historia*. Colegio de Postgraduados.
- Rosas-Rangel, D. M., Mendoza, M. E., Gómez-Tagle, A. y Tobón-Marín, C. (2019). Avances y desafíos en el conocimiento de los bosques mesófilos de montaña de México. *Madera y Bosques*, 25(1), e2511759 <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511759>
- Rojas, L. I., Romo, J. L., Rodríguez, D. A. y Villanueva-Morales, A. (2022). Susceptibilidad a incendios en el campo forestal experimental Las Cruces, Texococo, México: Una priorización basada en el enfoque multicriterio. *Sociedad y Ambiente*, (25), 1-35. <https://doi.org/10.31840/sya.vi25.2484>
- Samamé, J. A. (2023). Los incendios forestales y su repercusión en el ecosistema peruano. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2), 273-288. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.610>
- Sánchez, S., Grilli, M., Karlin, M., Fachinetti, R. y Ravelo, A. (2022). Determinación de regímenes de incendios y sequías usando información satelital y meteorológica para Córdoba, Argentina. *AgriScientia*, 39(1), 1-13. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v39.n1.33798>
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2019). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*, Edición 2018. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). (17 de abril de 2024). *Normales Climatológicas por Estado*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado?estado=ver>
- The Nature Conservancy (2004). *El Fuego, los Ecosistemas y la Gente. Una evaluación preliminar del fuego como un tema global de conservación*. The Nature Conservancy. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/FireLandscapes/LANDFIRE/Documents/EI%20Fuego%20los%20Ecosistemas%20y%20la%20Gente.pdf>
- Thompson, D. K. y Morrison, K. (2020). A classification scheme to determine wildfires from the satellite record in the cool

- grasslands of southern Canada: considerations for fire occurrence modelling and warning criteria. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(12), 3439-3454. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-3439-2020v>
- Turner, M. G., Braziunas, K. H., Hansen, W. D. y Harvey, B. J. (2019). Short-interval severe fire erodes the resilience of subalpine lodgepole pine forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 116 (23), 11319-11328. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1902841116
- Villaseñor, J. L. (2010). *El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares. Catálogo florístico-taxonomico*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Wang, Y. y Lewis, D. J. (2024). Wildfires and climate change have lowered the economic value of western U.S. forests by altering risk explication. *Journal of Environmental Economics and Management*, 123, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2023.102894>



Percepción del cambio climático: el caso de los estudiantes de posgrado de la Universidad Veracruzana

Perception of climate change: the case of graduate students at the University of Veracruz

Carolina Andrea Ochoa Martínez^{1*}
Ana Cecilia Travieso Bello²

¹Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana. Xalapa-Enríquez, Veracruz, México

²Facultad de Economía de la Universidad Veracruzana. Xalapa-Enríquez, Veracruz, México

*Autora de correspondencia: caochoa@uv.mx, orac8a@gmail.com

Editor encargado: Dr. Oscar Frausto Martínez

Recibido: 19 de agosto de 2024 - Aceptado: 03 de octubre de 2024

Resumen

Actualmente, el cambio climático es un fenómeno que representa el mayor desafío al que la sociedad mundial se enfrenta. Su existencia es inequívoca y sus efectos -directos e indirectos- afectan la calidad de vida humana y la integridad de los ecosistemas. Bajo este escenario, el presente estudio analiza la percepción del cambio climático de los estudiantes de posgrado de la región Xalapa, de la Universidad Veracruzana. Se obtuvo una muestra de 121 estudiantes, a quienes se les aplicó un cuestionario para medir la percepción de la existencia del fenómeno, así como la magnitud de este en la vida cotidiana.

Los resultados muestran que más del 75 % de ellos está familiarizado con los conceptos de cambio climático y calentamiento global; asimismo, consideran que los cinco principales factores que se relacionan con el fenómeno son: 1) deforestación, 2) gases de efecto invernadero, 3) urbanización, 4) procesos industriales y 5) transporte. Además, señalan que las principales consecuencias del cambio climático son: 1) aumento de la temperatura, 2) sequías, 3) derretimiento de los polos, 4) eventos meteorológicos extremos, 5) inundaciones. Por último, se identificó que las principales fuentes de información consultadas son: noticieros y televisión; artículos y revistas de divulgación, redes sociales y, con un porcentaje menor, aquella información que la misma universidad genera en relación con la problemática, lo cual está ampliamente vinculado con su desconocimiento sobre los cursos y programas con los que la universidad cuenta en torno al tema.

Lo anterior señala la importancia de que la investigación y la comunicación del cambio climático no pueden reducirse a solo transmitir información e incorporar nuevos contenidos planificados, y aunque en la Universidad dichas acciones se realizan, no son suficientes. Por ello, se debe pensar en una estrategia de mayor alcance que permita construir conocimiento y tomar acciones que mejoren el comportamiento de la población estudiantil.

Palabras clave: Crisis climática, Percepción, Educación, IES, Veracruz

Abstract

Currently, climate change is the biggest challenge facing global society. Its existence is unequivocal, and its effects—direct and indirect—affect the quality of human life and the integrity of ecosystems. Under this scenario, the present study analyzes the perception of climate change by postgraduate students from the Xalapa region of the University of Veracruz. A sample of 121 students was obtained, to whom a questionnaire was applied to measure the perception of the existence of the phenomenon as well as its magnitude in everyday life.

The results show that more than 75 % of them are familiar with the concepts of climate change and global warming and also consider that the five main factors related to the phenomenon are: 1) deforestation, 2) greenhouse gases, 3) urbanization, 4) industrial processes, and 5) transport. Furthermore, they point out that the main consequences of climate change are: 1) increase in temperature; 2) droughts; 3) melting of the poles; 4) extreme weather events; and 5) floods. Finally, it was identified that the main sources of information consulted are: news and television; articles and magazines of dissemination; social networks; and, with a lower percentage, information that the same university generates related to the subject. This is related to their lack of educational experiences (subjects) and programs that the university has around the topic.

The above points out the importance that research and communication on climate change cannot be reduced to simply transmitting information and incorporating new programmatic content, and although these actions are carried out at the university, they are not enough. Therefore, a more comprehensive strategy to build knowledge as well as to take actions that improve the behavior of the student population should be considered.

Keywords: Climate crisis, Perception, Education, IES, Veracruz

Introducción

El clima es uno de los aspectos del medio natural que a lo largo del tiempo parecen mostrar tendencias claras al cambio, por lo que el cambio climático (CC) es el mayor desafío del mundo contemporáneo, con una doble implicación: ecológica y social. De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, este acontecimiento provoca un aumento de los fenómenos hidrometeorológicos extremos (IPCC, 2022) y entre sus características se encuentran las alteraciones en la variabilidad climática debido al forzamiento inducido por el hombre.

Si bien el cambio climático es un fenómeno complejo que altera de manera diferente las localidades del planeta, el impacto en cada región depende principalmente del nivel de vulnerabilidad, la infraestructura y los eventos meteorológicos extremos, así como de la capacidad de reacción y adaptación hacia las nuevas condiciones ambientales (Gay y Rueda, 2015).

Bajo este esquema, la sociedad se siente afectada de distintas maneras como consecuencias de los cambios que ha producido en su propio entorno. Así, es un hecho que el CC es un tema que cada vez interesa y preocupa más a nuestra sociedad y cuya complejidad hace indispensable que sea abordado de manera transdisciplinar desde múltiples perspectivas: social, económica, sanitaria, meteorológica, tecnológico-científica.

Aunado a lo anterior, de acuerdo con Morote y colaboradores (2021) se observa cómo a la comunidad científica no le resulta fácil tener una explicación sencilla de la evolución del clima debido a la diversidad de factores que intervienen. Es decir, son tan complejas las explicaciones sobre el tiempo atmosférico, clima y cambio climático, que el manejo de conceptos de manera errónea podría afectar la comprensión de este, pues es evidente que el tema ha

trascendido de la academia a la opinión pública de una manera distorsionada.

Por otra parte, Oltra y colaboradores (2009) señalaron que existen grandes vacíos de información que pueden ser abordados desde las ciencias sociales para intentar responder y comprender los procesos de interacción que existen en la sociedad y su medio ambiente. Es por lo que a las ciencias sociales les corresponde la tarea de proponer nuevas configuraciones de entendimiento sobre las sociedades, que permitan comprender que las consecuencias ponen en riesgo y comprometen las condiciones de habitabilidad del ser humano; es decir, resulta indispensable analizar los esfuerzos comunicativos y la comprensión pública del fenómeno.

De esta manera, se entiende por percepción al proceso por el cual una persona selecciona, organiza e interpreta los estímulos, para darle significado a un hecho o acontecimiento por venir (Schmidt, Ivanova y Schäfer, 2013). En los últimos años, el estudio de la percepción del cambio climático se ha convertido en un tema emergente, que deriva de relacionar al fenómeno con la vida cotidiana, la proactividad de diversos actores y su capacidad de respuesta. Para el caso de América Latina, Cruz y Páramo (2020) señalan que se requiere incrementar y afinar los conocimientos básicos y aplicados sobre la percepción social del cambio climático, con el fin de diseñar, aplicar y legitimar acciones educativas, coherentes con las políticas de respuesta a la crisis climática.

Es bajo esta perspectiva que surge el interés de esta investigación, que permita contar con un diagnóstico del grado de conocimiento y percepción que los diversos sectores poblacionales tienen del CC, tomando como población de estudio el caso de los estudiantes de posgrado de la región Xalapa de la Universidad Veracruzana, debido a que se están formando como recursos humanos de alto nivel que probablemente se incorporarán al mercado laboral.

Los resultados obtenidos permitirán entender la problemática que suscita el cambio climático en la actualidad y sus efectos futuros en la sociedad, ayudando a enriquecer la comprensión de conciencia ambiental y la comunicación científica para abordar este desafío global de manera efectiva a nivel local. Dichos temas están ampliamente relacionados con el Programa de Trabajo 2021-2025 de la Universidad Veracruzana, el cual incluye el tema de crisis climática y resiliencia social, con acciones dirigidas a la investigación y a su difusión en la comunidad universitaria (Universidad Veracruzana, 2022).

Marco teórico

La evidencia científica es inequívoca: las actividades humanas, sobre todo la quema de combustibles fósiles ha generado un aumento de temperatura calentando la atmósfera, los océanos y la tierra, lo que representa una amenaza para la salud del planeta y la sobrevivencia de todas las especies (IPCC, 2022).

Entonces, entender la percepción social de un fenómeno como el CC es de vital importancia porque afecta directa y sustancialmente su seguridad y derechos humanos. En México, resulta muy difícil estimar la percepción de la población y posicionamiento del gobierno en torno al cambio climático, derivado de su gran variedad de culturas y jurisdicciones, tomando en consideración que las experiencias locales de cada individuo o administración pública están marcadas por sus muy particulares condiciones de vida, educación, cultura y forma de hacer y entender la política (Gay y Rueda, 2015).

Si bien existe un limitado conocimiento sobre la percepción de los impactos del cambio y sus repercusiones, el tema ha tomado relevancia actualmente. García y colaboradores (2020) aportan algunos avances en la materia; estos investigadores analizaron las diferencias de género en el conocimiento y las percepciones del cambio climático entre adolescentes de educación secundaria, a través de un metaanálisis de la literatura científica del saber generado en torno a este tópico en el periodo comprendido entre 1993 y 2017. El estudio reveló que las mujeres obtienen menores puntuaciones que los hombres y esta diferencia aumentaba conforme se avanzaba con los cursos de este nivel educativo.

Por su parte, Morote y colaboradores (2021) realizaron un análisis sobre la percepción del cambio climático en los estudiantes del último curso del Grado de Maestro/a en Educación Primaria de la Universidad de Valencia, cuyo objetivo fue explorar y conocer los principales medios donde futuros(as) maestros(as) de educación básica (primaria) reciben información sobre el cambio climático, y reconocer las causas y consecuencias que mencionan en estos medios. Para ello diseñaron un

muestreo no probabilístico y un instrumento que fue aplicado al alumnado de cuarto grado de educación primaria. Los resultados mostraron que 32.80 % utilizó el internet como medio de comunicación para recibir información sobre el cambio climático, el 58.29 % aseveró que la contaminación es la causa que el cambio climático alude en los medios de comunicación, y el 20.23 % mencionó que uno de los efectos del cambio climático es el incremento de los fenómenos naturales extremos.

Para el caso de América Latina, Forero y colaboradores (2014) realizaron una revisión bibliográfica acerca de las investigaciones de percepción del cambio climático que se han realizado durante el periodo 1997 a 2012, en comunidades locales campesinas e indígenas, donde se cuantificaron por bases de datos 62 documentos hallados; en estos, se encontraron tres enfoques metodológicos para abordar los estudios de percepción: a) cuantitativo, b) cualitativo y c) mixto, además de que las tres herramientas principales utilizadas en los estudios de percepción son: entrevista semiestructurada, encuesta y observación en campo.

Por otro lado, identificaron como relevantes las siguientes percepciones: variabilidad climática, incremento de temperatura, cambio en la precipitación, y cambio en los hábitos culturales; es decir, los resultados señalaron que la percepción dominante es que existe un cambio asociado principalmente con el factor climático (90.2 % de los documentos detectados) (Forero et al., 2014).

Además, Rodríguez y colaboradores (2022) realizaron una investigación para describir los conocimientos y las percepciones sobre cambio climático en estudiantes universitarios de la Región Caribe colombiana, con una muestra de 1275 estudiantes de diversas universidades públicas. Los autores encontraron que existe una marcada tendencia al reconocimiento de causas y efectos del cambio climático, así como de estrategias para su mitigación, pero que no suelen asociarse a efectos relacionados con su cotidianidad y contextos inmediatos. Lo anterior evidencia la necesidad de articular explícitamente los procesos de formación profesional al reconocimiento de acciones relacionadas con el cambio climático.

Por su parte, Canaza y cols. (2021) analizaron la percepción del peligro climático en estudiantes de educación secundaria en Perú, a través de un estudio cualitativo realizado en seis instituciones educativas de nivel secundaria en tres regiones de Perú, en 2018. Se entrevistaron 102 estudiantes sobre el cambio climático y los peligros e impactos que el fenómeno genera. Los resultados mostraron un amplio consenso acerca de que el cambio climático es una de las condiciones adversas altamente despiadadas por su alcance. Los autores concluyen que para construir un pensamiento crítico ecológico desde los centros educativos es fundamental reforzar los modelos pedagógicos e institucionalizar en la agenda educativa transversalmente en torno al fenómeno.

En el caso particular de México, Bastida y Ochoa (2021) estudiaron las percepciones sobre cambio climático de los estudiantes universitarios de carreras del área educativa de la Universidad Pedagógica Nacional de Guadalajara, con la finalidad de determinar sus creencias, conductas y actitudes, a través de un estudio descriptivo y transversal; se encuestaron 241 estudiantes durante el periodo diciembre 2018 a mayo 2019. De manera general, los resultados muestran que los alumnos perciben los cambios climáticos que hay en el ambiente, pero no poseen conocimientos suficientes para una explicación clara del fenómeno. Los autores señalan la importancia de abordar la educación en torno al cambio climático dentro del currículo con un enfoque interdisciplinario, para lo cual resulta indispensable que los docentes estén en capacitación constante para lograr una influencia en la comunidad educativa y promover acciones en favor del medio ambiente.

Por último, es importante mencionar que México está suscrito a los principales tratados internacionales que promueven la educación y sensibilización de la sociedad ante el cambio climático. Se sabe que 89 % de la población afirmó haber escuchado sobre el término, pero solo 39 % tiene conocimiento real sobre el tema. Además, 3 de cada 10 mexicanos afirman que todos somos responsables del cambio climático (SEMARNAT-INECC, 2018).

Metodología

Para realizar la presente investigación se diseñó una estrategia basada en obtención de información por medio de un sistema de encuestas para conocer la percepción ante el cambio climático. Para ello el universo estuvo constituido por los estudiantes de posgrado de la región Xalapa de la Universidad Veracruzana y se realizó un muestreo no probabilístico (muestreo por conveniencia), puesto que se contó con la participación de los estudiantes que se encontraban en sus aulas al momento de visitar sus instalaciones.

El tamaño de la población estudiantil registrada en posgrado (especialización, maestría y doctorado) es de 2453 alumnos. Así, para la representatividad de la muestra, se consideró un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 5 % y de acuerdo con los resultados de la fórmula se debería obtener un mínimo de 113 participantes. Finalmente, la cifra total en el presente estudio ha ascendido a 121, logrando, por tanto, un número representativo.

Es importante destacar que la información obtenida de las/os participantes se recoge en un momento puntual (durante el periodo febrero a julio, 2023) y a modo de estudio de caso, utilizando como instrumento un cuestionario de 18 ítems, validado por expertos. Se trata de una herramienta que permite recopilar información en ausencia de manipulación o

intervención de los investigadores. Por último, el vaciado de los datos se realizó en el programa Excel, donde se realizó el análisis exploratorio y de frecuencias absolutas y porcentajes que se obtuvieron de las respuestas a cada pregunta.

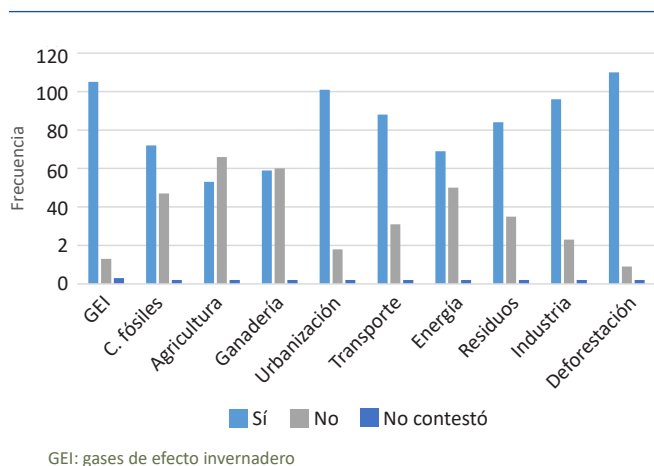
Resultados

Los resultados obtenidos muestran una gran variedad de disciplinas de estudio que cursan actualmente los estudiantes de posgrado de la Universidad Veracruzana, región Xalapa, entre las que destacan: Arquitectura, Biología, Métodos Estadísticos, Derecho, Economía, Psicología, Nutrición, Salud, Música, Ingeniería, Matemáticas, Física, Química y Enfermería, por lo que también están representadas todas las áreas de conocimiento. En relación con las características sociales de las/os participantes, la mayoría de los encuestados se encuentra en el rango de 26 a 35 años de edad (48 %), seguido por 18 a 25 años (39.7 %), de 36 a 45 años (8.3 %), el 4 % restante es mayor de 46 años. Respecto al género, la mayoría son del sexo femenino (58.7 %), mientras que el 40.5 % son hombres y solo 0.8 % prefirió no contestar.

Al preguntar a los participantes si han escuchado sobre los términos crisis climática, cambio climático y calentamiento global, un alto porcentaje respondió de manera afirmativa: 74.3 %, 99.1 % y 96.6 %, respectivamente. Además de que el 77.7 % considera como “muy urgente” el tema del cambio climático, 20.6 % lo considera “urgente” y el resto (1.6 %), “poco urgente”. Sin embargo, en contraste se observa que un 10 % de los encuestados suele confundir la definición de cambio climático, con cuestiones relacionadas con el tiempo atmosférico y que 8.5 % confunde al calentamiento global con el cambio climático y 3.3 % no está seguro de que haya una diferencia entre estos dos conceptos. Estos resultados son consistentes con lo obtenido por Rodríguez y colaboradores, quienes señalan que los estudiantes universitarios de la región caribe colombiana reconocen las causas y efectos del cambio climático, aunque no lo relacionan con su día a día (Rodríguez et al., 2022).

La **Figura 1** muestra las respuestas a la pregunta De las siguientes opciones, ¿cuáles crees que se relacionan con el cambio climático? Al ser una pregunta abierta, el encuestado podría seleccionar varias opciones, por lo que los resultados se muestran por frecuencia de respuestas afirmativas para cada una de las opciones. Se observa que 110 personas consideran a los gases de efecto invernadero como la opción principal relacionada con el cambio climático, seguido de la urbanización (101), y los procesos industriales (96). Por otra parte, se destaca que las opciones que los estudiantes de posgrado de la Universidad Veracruzana no encuentran relacionadas –respuestas afirmativas menos frecuentes– son la energía (69), ganadería (59) y agricultura (53).

Figura 1. Temas que los encuestados relacionan con el cambio climático

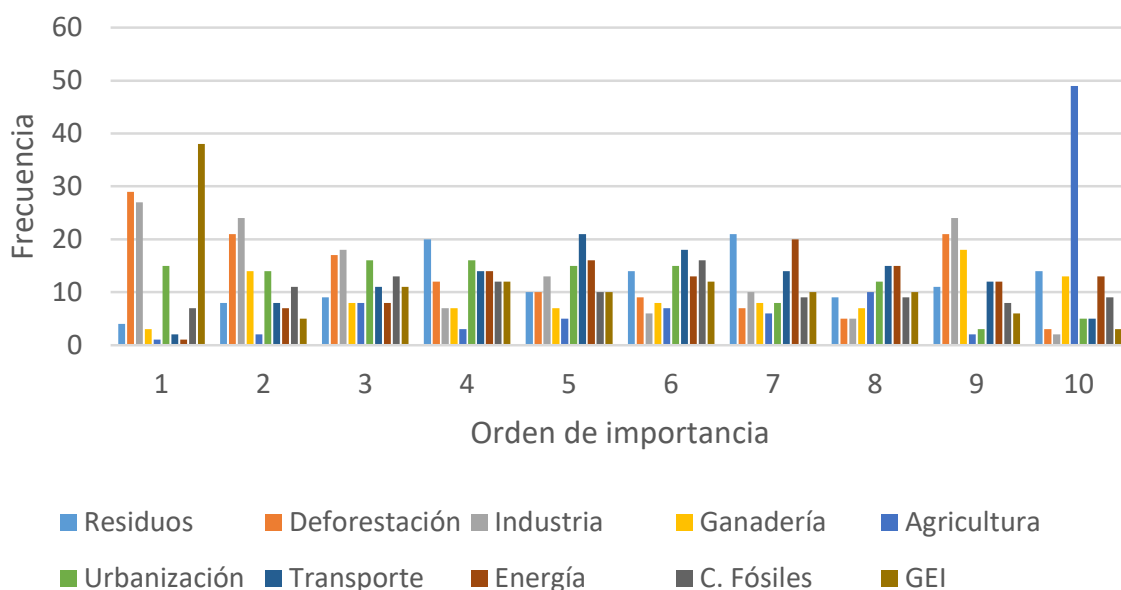


Posteriormente se les pidió clasificar por orden de importancia las opciones que consideraran que contribuyen al cambio climático, donde el 1 es el más importante y el 10 es el menos importante. Los resultados son congruentes con lo obtenido en la pregunta anterior, pues los encuestados señalan a los gases de efecto invernadero y los procesos industriales como los principales contribuyentes al cambio climático, mientras que la ganadería y agricultura son para ellos los que menos contribuyen (**Figura 2**).

Una vez identificados los factores que consideran contribuyen al fenómeno, se procedió a preguntar cuáles consideran que son las principales consecuencias que trae consigo el cambio climático, encontrando que el aumento de temperatura, las sequías y el derretimiento de los polos son las respuestas con los porcentajes más altos, 95.8 %, 95 % y 89.2 %, respectivamente. Estos resultados coinciden con lo señalado por Forero y colaboradores (2014), como las principales percepciones que tienen las comunidades en América Latina. Mientras que temas relacionados con la seguridad alimentaria, tales como baja producción de alimentos y pérdida de cosechas, así como la erosión, la acidificación de los océanos y la propagación de enfermedades no son considerados como consecuencias del cambio climático.

En este sentido, una vez exploradas las causas y consecuencias que perciben los estudiantes, 96.6 % de ellos considera que el fenómeno nos afecta mucho y solo 3.3 % señala que las afectaciones son pocas. En cuanto a si consideran que la ciudad de Xalapa se ha visto afectada por los efectos del cambio climático: 89.3 % señala que sí perciben afectaciones, 0.83 % menciona que no y 10 % no está seguro de que la ciudad se vea afectada. Esta información es contrastante con lo mencionado por Rodríguez y colaboradores (2022), quienes documentan que los estudiantes universitarios colombianos no relacionan las causas y efectos del fenómeno con su cotidianidad.

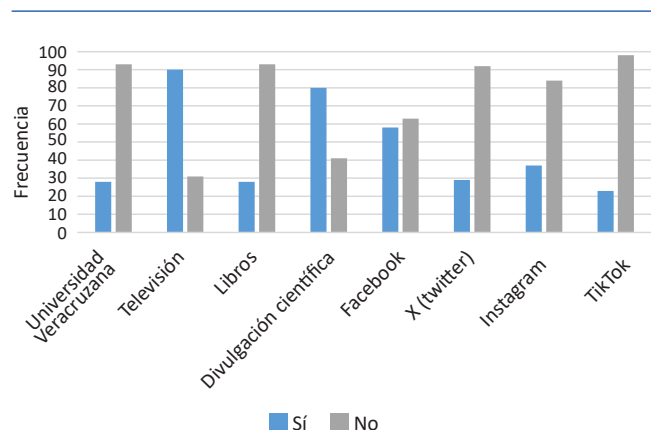
Figura 2. Clasificación por orden de importancia de opciones que consideran los encuestados contribuyen al cambio climático



GEI: gases de efecto invernadero

Finalmente, otro ítem del cuestionario tiene el objetivo de conocer las principales fuentes de información que utilizan para conocer sobre el cambio climático. Los resultados se muestran en la **Figura 3**. En este ítem se ha destacado por orden de importancia (es decir, la mayor frecuencia) la televisión como la principal fuente de información, con 90 respuestas; seguido de divulgación, con 80; redes sociales (Facebook, twitter, Instagram y TikTok) en su conjunto son la tercera opción más frecuente, con un promedio de 38; dejando como los menos votados a la información generada por la universidad y los libros, con 28 respuestas afirmativas cada uno.

Figura 3. Principales fuentes de información consultadas por los encuestados en temas relacionados con cambio climático



Cabe destacar que las fuentes de información consultadas pueden estar determinadas por factores como la calidad y cantidad de información, la fiabilidad y rapidez en el acceso, por lo cual son un elemento clave para entender las respuestas de los estudiantes, pues a través de ellas es que forman sus opiniones y basan sus decisiones. Así, los resultados obtenidos para esta investigación son consistentes con lo obtenido para el caso de los estudiantes universitarios de Guadalajara (Bastida y Ochoa, 2021).

Es importante destacar que hay cerca de un 14 % que señaló que consultan otras fuentes de información, tales como conferencias, congresos, documentales, internet (YouTube/Google), e información obtenida a través de pláticas con vecinos o maestros. Por otra parte, que los estudiantes de posgrado hayan considerado a la información generada por su propia universidad una de las fuentes de información menos consultadas, va de la mano con que casi 83 % de ellos desconoce si existen cursos o programas relacionados con el fenómeno al interior de la universidad. Sin embargo, cuando se les cuestionó si tenían interés en conocer los resultados de la presente investigación, cerca del 94 % señaló que sí, por lo que hay un interés en aprender sobre el tema.

Discusión

La confusión de los conceptos cambio climático, tiempo atmosférico y calentamiento global, que se observó en algunos estudiantes de posgrado de la región Xalapa de la Universidad Veracruzana, podría asociarse a que estos conceptos se abordan de manera somera en los planes de estudio de los niveles educativos medio y medio superior. Esto contrasta con lo encontrado por Sanchis y colaboradores (2018) en estudiantes de educación secundaria en España, que distinguen en la mayoría de los casos los conceptos de tiempo meteorológico y clima. Cabe mencionar que dichos conceptos se abordan en el curriculum de los niveles de educación primaria y secundaria en España. Sin embargo, en América Latina las investigaciones en educación para el cambio climático revelan conceptos errados de cambio climático y confusión con otros problemas ambientales (Cruz y Páramo, 2020).

El estudio de la percepción es un tema emergente, si bien existe un conocimiento limitado sobre cómo se perciben los impactos del cambio climático y sus repercusiones, los resultados de este estudio indican que de acuerdo con los estudiantes de posgrado de la región Xalapa de la Universidad Veracruzana, las principales consecuencias que trae consigo el cambio climático son el aumento de temperatura, las sequías y el derretimiento de los polos. Esto coincide en parte con lo primero que se le viene a la cabeza a la mayoría de los estudiantes de la Universidad Nacional de Asunción, cuando escuchan hablar de cambio climático, que es el incremento de la temperatura y las olas de calor (Miyazaki y Carrillo, 2023).

Lo encontrado en la Universidad Veracruzana puede estar directamente relacionado con las fuentes de información que consultan para el tema del cambio climático, que son los medios de comunicación y redes sociales, donde si bien se trata de manera general el fenómeno no permite percibir las realidades locales que posibilitan al estudiante una apropiación del problema. Esto va relacionado con lo señalado en el reporte mexicano de cambio climático respecto a que ninguna persona siente responsabilidad directa del CC, atribuyendo la responsabilidad a otros ciudadanos, grupos comunitarios o incluso al gobierno (Gay y Rueda, 2015).

Por otra parte, las encuestas realizadas en los últimos años en diversos países muestran que el grado de preocupación por el cambio climático entre los ciudadanos es elevado, aunque esta preocupación es siempre menor que la existente en referencia a otros problemas (Oltra et al., 2009).

En México, si bien existe una alta preocupación, la población no percibe al cambio climático como un reto urgente; es decir, percibe ligeramente el riesgo de un desastre ambiental por cambio climático, pero ello no implica cambiar sus prioridades, pues consideran que sus actividades individuales no marcarán una diferencia. Lo anterior, puede ser atribuido a que la participación ciudadana está limitada por la poca

credibilidad del gobierno, pues consideran que la información está sesgada hacia el alarmismo (Gay y Rueda, 2015).

En cuanto a la educación en torno al cambio climático, si bien México forma parte de los principales instrumentos internacionales que promueven la educación y sensibilización ante el cambio climático, se requiere de transitar a una mirada transversal y sistemática que integre las distintas disciplinas que abordan el CC.

De acuerdo con la Sexta Comunicación Nacional ante el Cambio Climático, para el nivel superior, existen avances significativos, puesto que las principales universidades e instituciones de educación superior, agremiadas en la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), han incorporado el tema de cambio climático en el desarrollo de sus investigaciones y han llevado a cabo congresos, diplomados y cursos que contribuyen a la formación de capital humano en esta materia (Semarnat-Inecc, 2018).

Para el caso específico de la percepción en ambientes escolares, se ha encontrado que, en el ámbito universitario, esta depende del nivel de conocimientos, la actitud hacia el fenómeno y la autoeficacia (Hidalgo y Pisano, 2010); mientras que los académicos ecuatorianos están conscientes de la existencia y la gravedad del cambio climático, así como de la responsabilidad de los seres humanos, pero en su mayoría desconocen el origen de este fenómeno (Toulkeridis et al., 2020), las universidades hondureñas identificaron la necesidad de fortalecer el conocimiento sobre cambio climático y riesgo de desastres en nivel pregrado, para que pueda ser reflejado en la enseñanza en el aula, en investigaciones y publicaciones relacionadas (Suazo y Torres-Valle 2021).

Así, los resultados que aquí se presentan señalan que, aunque se trata de un tema actual del que la mayoría tiene una idea general de lo que es y lo que implica, pocos estudiantes de posgrado de la Universidad Veracruzana son capaces de explicar en qué consiste y cuáles son sus consecuencias. En otras palabras, esta es solo una primera aproximación a la percepción universitaria con la finalidad de que sirva para la formulación de propuestas que sean aplicadas al interior de la Universidad.

Conclusiones

Si bien la emergencia climática derivada de los impactos del cambio climático precisa de compromiso y de la acción casi inmediata de toda la sociedad, las instituciones de educación superior juegan un papel fundamental, pues constituyen un espacio ideal para la formación de los futuros profesionales, que deberán enfrentar los desafíos que este fenómeno trae consigo y abordarlos desde diferentes contextos, tales como social, económico, ambiental, cultural y político.

Es así como la Universidad Veracruzana es consciente de su aportación en torno al cambio climático en términos de formación de profesionistas, generación de conocimiento y tecnología, además de su vinculación con la sociedad. Todo esto se encuentra reflejado en el Plan de Acción Climática 2030 de la Universidad Veracruzana (PACUV), el cual tiene como propósito contribuir a la cultura de la acción climática a través de sus funciones sustantivas y adjetivas, con el fin de colaborar en la construcción de una sociedad sustentable y resiliente.

En consonancia con lo anterior, el PACUV está conformado por cuatro ejes: Gestión, Investigación, Educación y comunicación y Vinculación. En el eje de Educación y comunicación, señala que, si bien se han tenido avances en materia de incorporar al cambio climático en sus funciones sustantivas, es evidente que urge fortalecer la labor docente en materia de cambio climático, a través de una sensibilización que aporte información y formación sobre los procesos y no solo se aborde por medio de actividades ocasionales.

Teniendo en cuenta los resultados, se deduce que los estudiantes universitarios de posgrado perciben cambios climáticos que están ocurriendo en su entorno, las causas y consecuencias de este fenómeno. Sin embargo, también enfatiza la necesidad de establecer una estrategia de mayor alcance que permita construir conocimiento que sea socialmente útil y permita tomar acciones que mejoren el comportamiento de la población estudiantil dentro de la Universidad Veracruzana.

Referencias

- Bastida-Izaguirre, D. & Ochoa-Villanueva, X. (2021). Cambio climático, una mirada desde los educadores en formación y la importancia de su enseñanza desde un enfoque interdisciplinar. *Revista de Educación Ambiental y Sostenibilidad* 3(2), 2601.
- Canaza-Choque, Franklin A., Escobar-Mamani, Fortunato y Huanca Arohuana, Jesús W. (2021). Reconocer a la bestia: Percepción de peligro climático en estudiantes de educación secundaria. *Revista de Ciencias Sociales*, 27 (2), 417-434.
- Cruz, N. y Páramo, P. (2020). Educación para la mitigación y adaptación al cambio climático en América Latina. *Educación y Educadores*, 23(3), 469-489. <https://doi.org/10.5294/edu.2020.23.3.6>
- Forero, E. L.; Hernández, Y. T.; Zafra, C. A. (2014). Percepción latinoamericana de cambio climático: metodologías, herramientas y estrategias de adaptación en comunidades locales. Una revisión. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 17(1): 73-85.

- García-Vinuesa, Antonio, Iglesias da Cunha, María Lucía, & Gradaille Pernas, Rita. (2020). Diferencias de género en el conocimiento y las percepciones del cambio climático entre adolescentes. Metaanálisis. *Pensamiento Educativo*, 57(2). <https://dx.doi.org/10.7764/pel.57.2.2020.5>
- Gay y García, C. y Rueda Abad, J.C. (2015). *Reporte Mexicano de Cambio Climático- Grupo II Impactos, vulnerabilidad y adaptación*. Universidad Nacional Autónoma De México/ Programa de Investigación en Cambio Climático.
- Hidalgo, M. C. y Pisano, I. (2010). Predictores de la percepción de riesgo y del comportamiento ante el cambio climático. Un estudio piloto. *PsyEcology*, 1(1), 39-46. <https://doi.org/10.1174/217119710790709577>
- IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.
- Miyazaki, M. y Carrillo González, C. D. (2023). Percepción y conocimiento del cambio climático en estudiantes de la Universidad Nacional de Asunción. *Reportes científicos de la FACEN*, 14(2), 165-171. <http://doi.org/10.18004/rcfacen.2023.14.2.165>
- Morote, A. F., Campo, B. & Colomer, J. C. (2021). Percepción del cambio climático en alumnado de 4º del Grado en Educación Primaria (Universidad de Valencia, España) a partir de la información de los medios de comunicación. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 24(1), 131-144. <https://doi.org/10.6018/reifop.393631>
- Oltra, C., Solà, R., Sala, R., Prades, A., & Gamero, N. (2009). Cambio climático: Percepciones y discursos públicos. *Prisma Social: Revista de Investigación Social*, 2(10), 1–23. <http://bit.ly/3lC>
- Rodríguez Pacheco, F. L., Mejía Rodríguez, D. L. y Sánchez Buitrago, J. O. (2022). Conocimientos y percepciones sobre el cambio climático en estudiantes universitarios. *Diversitas: Perspectivas en Psicología*, 18(1). <https://doi.org/10.15332/22563067.6305>
- Sanchis Gual, R., Solaz-Portolés, J. J. y Sanjosé López, V. (2018). Creencias sobre tiempo meteorológico, clima y cambio climático en estudiantes de secundaria. *Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, (86), 987-1010. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/opcion/article/view/23868/24313>
- Schmidt, A., Ivanova, A. & Schäfer, M. S. (2013). Media attention for climate change around the world: A comparative analysis of newspaper coverage in 27 countries. *Global Environ. Change*, 23(5), 1233-1248
- SEMARNAT-INECC (2018). *Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. SEMARNAT-INECC.
- Suazo, L. E. y Torres-Valle, A. (2021). Percepciones, conocimiento y enseñanza de cambio climático y riesgo de desastres en universidades hondureñas. *Formación Universitaria*, 14(1), 225-236. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062021000100225>
- Toulkeridis, T., Tamayo, E., Simón-Baile, D., Merizalde-Mora, M. J., Reyes-Yunga, D. F., Viera-Torres, M., et al. (2020). Cambio climático según los académicos ecuatorianos -percepciones versus hechos. *La Granja*, 31(1), 21-46. <https://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.02>
- Universidad Veracruzana (2022). *Programa de Trabajo 2021-2025 Por una transformación integral*.





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE QUINTANA ROO



• Teoría y Praxis • El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo. Queda prohibida la reproducción total o parcial del contenido por cualquier medio sin autorización expresa de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo.