

Correlación Entre Inundaciones y Siniestros Viales: Influencia y Determinación de Resiliencia Urbana en Zona UACH Campus II, Chihuahua, México

René Axel Orrantia Chaparro¹

Daniel Lira Hernández²

Ángel Onasis Évora Caraveo³

Resumen

La presente investigación aborda la correlación entre las precipitaciones anuales y los incidentes de tráfico en la zona de Campus II de la Universidad Autónoma de Chihuahua, con un enfoque particular en cómo las condiciones climáticas adversas aumentan la incidencia de siniestros viales. Se utilizó un análisis de datos de precipitación y registros de accidentes entre 2019 y 2022 para examinar cómo las variaciones en el clima afectan la seguridad vial. El estudio revela que durante los períodos de lluvia, la incidencia de accidentes viales aumenta significativamente, atribuible a varios factores como la visibilidad reducida, el pavimento mojado, y la degradación de la infraestructura vial. Estos elementos combinados crean condiciones peligrosas para los conductores, aumentando el riesgo de colisiones y otros tipos de accidentes.

La investigación también destaca la inadecuada planeación urbana y el mantenimiento deficiente de las infraestructuras como causas subyacentes que exacerban los riesgos durante las lluvias. Se observó que la ciudad de Chihuahua, a pesar de su crecimiento urbano, carece de sistemas de drenaje eficaces que puedan manejar adecuadamente los volúmenes de agua durante temporadas de lluvia intensa.

Para enfrentar esta problemática, el estudio sugiere la implementación de estrategias de gestión territorial y urbanismo que incorporen infraestructura resiliente y sostenible. Propone la instalación de semáforos pluviales, que informarían sobre el estado de las condiciones climáticas y ayudarían a prevenir inundaciones. Además, enfatiza la necesidad de promover una cultura de seguridad vial que incluya educación sobre la conducción bajo condiciones adversas.

En conclusión, este análisis subraya la importancia de una planificación urbana proactiva y adaptativa que no solo atienda las necesidades actuales de movilidad, sino que también se prepare para los desafíos impuestos por el cambio climático y sus efectos en la seguridad vial. La adopción de tecnologías innovadoras y prácticas de planificación estratégica podría transformar significativamente la resiliencia urbana de Chihuahua, mejorando la seguridad y calidad de vida de sus residentes mediante una visión integral destacando la interconexión entre la gestión de riesgos climáticos y la planificación urbana en la prevención de siniestros viales.

Conceptos clave: Inundaciones, Siniestros Viales, Gestión Territorial y Resiliencia Urbana.

¹ René Axel Orrantia Chaparro, Estudiante de licenciatura de Ingeniería en Desarrollo Territorial, Universidad Autónoma de Chihuahua, a348329@uach.mx

² Daniel Lira Hernández, Estudiante de licenciatura de Ingeniería en Desarrollo Territorial, Universidad Autónoma de Chihuahua, a355135@uach.mx

³ Ángel Onasis Évora Caraveo, Estudiante de licenciatura de Ingeniería en Desarrollo Territorial, Universidad Autónoma de Chihuahua, a355134@uach.mx

Introducción

Este estudio analiza la interacción entre fenómenos meteorológicos extremos y la seguridad vial en Chihuahua, México, situando estas dinámicas dentro del contexto más amplio del cambio climático global y su impacto en el desarrollo regional. Según el Informe Especial del IPCC sobre el Calentamiento Global de 1.5 °C, las áreas urbanas enfrentan retos únicos debido a la intensificación de eventos climáticos extremos. Estos desafíos exigen innovaciones en la planificación urbana y en la gestión de infraestructuras para asegurar un desarrollo regional sostenible (IPCC, 2018). En Chihuahua, estos eventos se manifiestan a través de precipitaciones intensas que afectan significativamente la infraestructura vial y la seguridad de los ciudadanos, subrayando la urgencia de incorporar estrategias de adaptación climática en la planificación urbana y regional.

El rápido desarrollo urbano en Chihuahua ha traído consigo importantes desafíos en términos de gestión de infraestructuras y resiliencia. La expansión de la infraestructura vial, que no siempre ha sido acompañada de las mejoras necesarias en los sistemas de drenaje, se vuelve crítica en un contexto climático que, aunque predominantemente árido, experimenta episodios de lluvias intensas con mayor frecuencia y magnitud. Según estudios recientes de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Territorial (SEDATU), las regiones de rápida expansión como Chihuahua requieren una revisión urgente de sus capacidades para manejar estos desafíos extremos, enfatizando la necesidad de un enfoque integrado que contemple tanto la sostenibilidad ambiental como el crecimiento urbano (SEDATU, 2020).

La vulnerabilidad de Chihuahua a las inundaciones no sólo pone en riesgo la infraestructura física, sino que también impacta directamente en la seguridad de sus habitantes. Un informe de la Comisión Nacional de Seguridad (CNS) destacó que, durante los períodos de lluvia intensa, las tasas de accidentes viales en Chihuahua aumentan hasta en un 40%, un factor que contribuye significativamente a la mortalidad y morbilidad en la región (CNS, 2021). Esta correlación subraya la importancia de integrar la gestión del agua y la planificación vial en un enfoque holístico de planificación urbana para mejorar la resiliencia y la seguridad pública.

Además, el Centro de Experimentación y Seguridad Vial (CESVI) indica que, con la llegada de la época de lluvias, los accidentes viales en carretera aumentan hasta en un 20 por ciento. Esta situación se agrava por sustancias como aceite, gasolina y anticongelante que, en combinación con el agua, forman una mezcla resbaladiza. Junto al desgaste de las llantas, esto provoca un mayor número de siniestros (CESVI, 2023). Esta información destaca la necesidad de implementar estrategias efectivas para mitigar los riesgos asociados con la temporada de lluvias, integrando la gestión de riesgos y la planificación vial en las políticas de desarrollo regional.

En lo que va del 2023, se han reportado más de 40,000 siniestros en México, de los cuales el 15% fueron entre junio y julio, meses que se consideran el inicio de la temporada de lluvias, siendo la principal causa la colisión (GNP, 2023); sabiendo que estos meses son los más propensos a que llueva, se pueden realizar estrategias para mitigarlos. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) cada año más de 1.3 millones de habitantes pierden la vida y hasta 50 millones resultan con lesiones a causa de los siniestros de tránsito (Cruz-Moreta, 2024)

De acuerdo con el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), en 2021, del total de accidentes de tránsito, el 5% correspondieron a “agentes naturales” como lluvia, niebla y otros agentes naturales, sumando que cada año el uso del vehículo es más recurrente en los estados debido a varios factores que son alternos a nuestro tema, se debe tomar en cuenta que el frecuente uso del

automóvil aumenta el número de accidentes en temporada de lluvias. Varios organismos gubernamentales de transporte y educación colaboran para mejorar la gestión y operación de la movilidad en México (CAF, 2018). Los necesarios y frecuentes desplazamientos de los habitantes a sus centros de trabajo, o los realizados con motivo de su propia actividad lúdica, los exponen de forma continua a sufrir un accidente de tráfico de mayor o menor gravedad (Palazuelo-Sánchez, 2024). Por lo tanto, es responsabilidad de la comunidad y del gobierno medir el riesgo que esto causa ante un fenómeno natural.

Es imperativo que las autoridades locales prioricen el desarrollo de un sistema de drenaje más eficiente y la adaptación de la señalización vial para garantizar visibilidad en condiciones de baja visibilidad. En este contexto, la educación vial adquiere una relevancia crítica, siendo esencial para fomentar una cultura de seguridad robusta, particularmente bajo condiciones climáticas adversas. Conforme a las directrices de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2014), el sistema de señalización vial no solo facilita la comunicación entre ciudades y regiones, sino que también asegura el derecho de cada individuo a disfrutar de la más alta calidad de vida y bienestar, promoviendo una movilidad segura, eficiente y sostenible en situaciones que demandan una protección máxima en salud (México, 2020).

La realidad de las condiciones viales en la capital de Chihuahua refleja una preocupante deficiencia: calles sin señalización adecuada, ausencia de señales de tránsito claras, ciclovías abandonadas, pasos peatonales deteriorados, y banquetas obstruidas. Esta situación crea un entorno peligroso para los ciudadanos que diariamente se desplazan por las dos ciudades más importantes del estado. Este no es solo un problema percibido; está respaldado por datos concretos. De acuerdo con el último informe de la Comisión Nacional para la Prevención de Accidentes (CONAPRA, 2020), Chihuahua ha registrado un aumento alarmante en la tasa de mortalidad por accidentes viales, representando el 30% de los siniestros viales a nivel nacional.

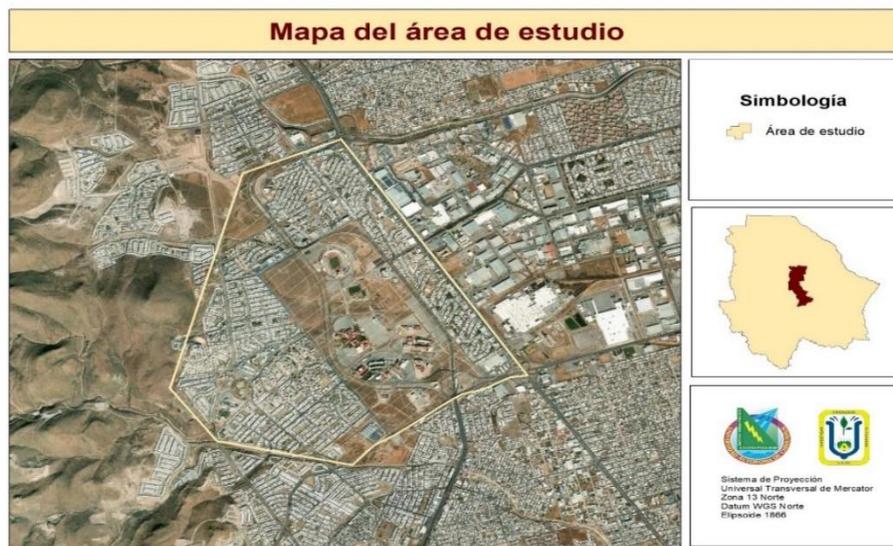
Además, el más reciente Inventario Nacional de Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) muestra que Chihuahua solo alcanza un 33% de cobertura total en banquetas y apenas un 9% de su infraestructura está adaptada para la accesibilidad universal, lo que subraya la urgente necesidad de mejorar estas infraestructuras (Andrade-Ochoa, 2020). Por tanto, es crucial abordar estas deficiencias, considerando que existe un riesgo significativo de accidentes fatales asociados a fenómenos naturales, especialmente en áreas críticas como el sector norte entre la UACH II y los fraccionamientos aledaños. La identificación y solución de estos puntos críticos son esenciales para incrementar la conciencia y mejorar la seguridad de los ciudadanos.

El desarrollo regional en Chihuahua, por lo tanto, no puede desligarse de las consideraciones climáticas y de seguridad vial. La planificación debe ser proactiva y multifacética, abordando no solo las necesidades de infraestructura y movilidad, sino también la adaptación al cambio climático y la promoción de un desarrollo sostenible. Las autoridades locales deben desarrollar sistemas de drenaje eficientes y adaptar las señales de tráfico para mejorar la visibilidad y la seguridad en condiciones adversas. Estos esfuerzos deben ser parte de una estrategia integral que fomente una cultura de seguridad y prepare a la región para enfrentar los desafíos futuros del desarrollo urbano en un clima cambiante.

Definición del área de estudio

El área de estudio está delimitada por el Periférico de la Juventud, Av. Tecnológico y Circuito Universitario justo en la parte central del área se encuentra el campus II de la UACH situado entre Circuito Universitario y Periférico de la Juventud. La importancia de estudiar la zona es la densidad de tránsito vehicular en primer lugar por ser vías principales para la movilidad en la ciudad y en segundo por el tránsito que se genera en el área por estar dentro de un campus universitario y múltiples lotes residenciales y el tercer punto y más importante es la infraestructura para la circulación dentro del área que se ve afectada cuando se tienen precipitaciones pluviales.

Figura 1. Área de estudio de la zona aledaña al campus II de la Universidad Autónoma de Chihuahua



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2024.

Colecta y tratamiento de datos

La metodología empleada se basa en el análisis estadístico de datos de precipitación y registros de accidentes viales proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para el período de 2019 a 2022. Utilizamos modelos de regresión lineal para evaluar la correlación entre las precipitaciones y la frecuencia de accidentes viales, ajustando por variables como la visibilidad y el estado de la infraestructura vial.

Para una mejor comprensión de los patrones de precipitación, se crearon tablas que detallan los días en los cuales se registraron precipitaciones superiores a 5 mm. Este enfoque permitió un análisis más efectivo de los datos, simplificando su interpretación y mejorando la calidad de los resultados obtenidos. En relación con los accidentes automovilísticos, se adoptó una metodología similar: se desarrollaron tablas mensuales de los incidentes ocurridos a lo largo de los años estudiados, facilitando así la comparación con los datos de precipitación.

Adicionalmente, para una visualización geográfica precisa de cómo las precipitaciones influyen en los accidentes de tráfico, se empleó el software ArcGIS®. Este recurso permitió mapear y analizar espacialmente los datos, identificando con claridad las zonas del territorio más afectadas

por estos factores. Este método de representación espacial es fundamental para entender la distribución y el impacto de los fenómenos estudiados en el contexto urbano y vial de Chihuahua.

Resultados

El estudio realizó un análisis exhaustivo de las precipitaciones registradas en el municipio de Chihuahua de 2019 a 2022, utilizando datos del INEGI. Se observó que, aunque la región es característicamente árida con precipitaciones anuales bajas, los eventos pluviales cuando ocurren, especialmente en los meses de junio a septiembre, este patrón se ha observado en estudios (Núñez, 2007) donde los análisis desde 1993 – 2004 son significativos y coinciden con un incremento en los siniestros viales.

El análisis de la precipitación durante los años de 2019-2022 se revisó día por día y se obtuvieron los siguientes resultados con respecto a los milímetros de precipitación que hubo.

Como se puede apreciar en el cuadro 1, los meses de enero a mayo es muy poca o nula las precipitaciones que se presentan, en los meses de junio, julio, agosto y septiembre las temporadas de lluvia comienzan y por ende la precipitación mensual aumenta, es importante hacer mención que Chihuahua a lo largo de estos años tuvo pocos días de lluvia y gran parte de ellos fueron leves; sin embargo, días como el 22 de agosto de 2019 y 19 de agosto de 2021 la precipitación supero los 40mm, y aunado a las deficiencias de la infraestructura vial se pudieron desencadenar siniestros viales.

Cuadro 1. Días con precipitación durante los años de 2019 a 2022.

| Meses | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|-------------------|--------------------|--------------|------------------|----------------------------|
| Enero | X | X | 20 | X |
| Febrero | X | X | 15,18 | X |
| Marzo | X | X | X | X |
| Abril | 24 | X | 30 | X |
| Mayo | X | X | X | X |
| Junio | 2, 10 | 25 | 27, 28, 29 | 2,19,20,26 |
| Julio | 4,7,17,29,30 | 4,6,7,24 | 1,2,3, 19,23,29 | 7,11,23,27 |
| Agosto | 8,9,17,19,22,27 | X | 2,12,13,16,19,31 | 10,17,18,19,20,22,24,29,31 |
| Septiembre | 2,7,10,18,22,24,30 | 1,2,14,15,17 | 2,3,23,25 | 1,2 |
| Octubre | 1,2,4,13 | X | X | 1,7,9 |
| Noviembre | 6, 11,12,27 | X | 26 | X |
| Diciembre | 9 | 31 | x | X |

Donde, el color verde representa una precipitación entre 5-10mm.; en amarillo representan una precipitación entre 11-20mm.; en naranja representan una precipitación entre 21-40mm.; y en color rojo representan una precipitación mayor a 40mm.

Fuente. Elaboración propia con datos del INEGI, 2024

Es relevante para la investigación conocer en qué meses es mayor la precipitación mensual para poder implementar medidas de precaución en estos, el siguiente expone como se comportó la precipitación cada mes entre 2019 y 2022.

Cuadro 2. Total de precipitación mensual durante los años de 2019 a 2022.

| | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Enero | X | X | 10.8 | X |
| Febrero | X | X | 12 | X |
| Marzo | X | X | X | X |
| Abril | 7 | X | 7.2 | X |
| Mayo | X | X | X | X |
| Junio | 23.4 | 7.9 | 59.2 | 83 |
| Julio | 42.4 | 42.9 | 91.9 | 31.4 |
| Agosto | 85.8 | X | 97.8 | 159 |
| Septiembre | 74 | 81.7 | 34.9 | 34.6 |
| Octubre | 69.3 | X | X | 37.4 |
| Noviembre | 30.2 | X | 20.9 | X |
| Diciembre | 8 | 21.1 | X | X |
| TOTAL | 340.1 | 153.6 | 334.7 | 345.4 |

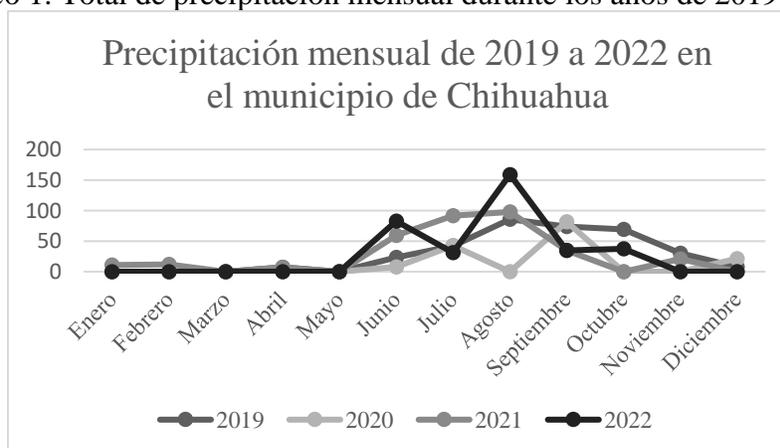
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2024.

Como se muestra en el (Cuadro 2), las precipitaciones en los meses de julio, agosto y septiembre, en promedio va desde los 40mm hasta los 159mm, esto sirve para conocer los meses en que es fundamental implementar medidas de mitigación en contra de inundaciones para disminuir el número de siniestros viales.

El Cuadro 2 describe la cantidad de lluvia caída en milímetros mes a mes, lo cual permite visualizar cómo los meses de verano no solo tienen más días de lluvia, sino también mayor volumen total de precipitación en Chihuahua. Esto es crucial para entender la magnitud del desafío que representan estas condiciones para la infraestructura vial y la planificación urbana.

Sumado a esto, también se debe valorar la precipitación anual en estos 4 años que se están evaluando donde en tres de ellos ronda los 340mm de precipitación anual, además de que hay partes de la zona urbana que no están diseñadas para soportar las temporadas de lluvias, y el área de estudio de esta investigación no es la excepción.

Gráfico 1. Total de precipitación mensual durante los años de 2019 a 2022.

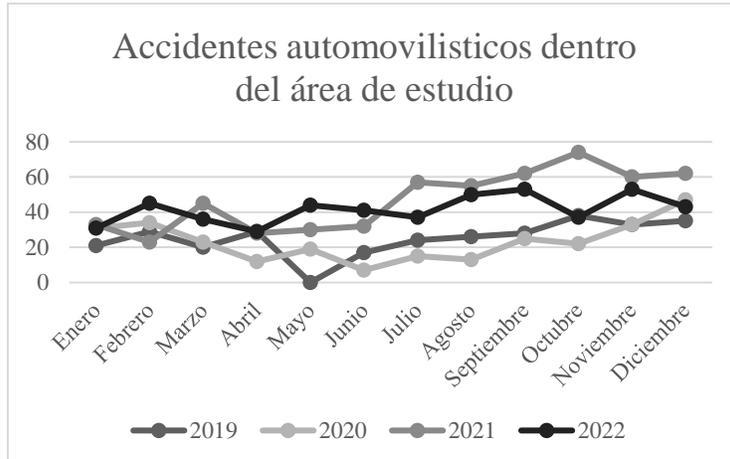


Fuente. Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2024

CORRELACIÓN ENTRE INUNDACIONES Y SINIESTROS VIALES: INFLUENCIA Y DETERMINACIÓN DE RESILIENCIA URBANA EN ZONA UACH CAMPUS II, CHIHUAHUA, MÉXICO

Como se aprecia en el (Grafico 1), existen picos donde las precipitaciones mensuales rebasan los 90mm acumulados y generalmente esto ocurre en los meses de junio, julio, agosto y septiembre. Respecto a los accidentes dentro del área de estudio, se puede observar en el (Grafico 2) que a pesar de que parecen mantener un numero constante mensualmente, existen un leve incremento en los meses donde aumenta la precipitación.

Gráfico 2. Accidentes automovilísticos en el área de estudio



Fuente. Elaboración propia con datos del INEGI, 2024

Aunque los accidentes son relativamente constantes a lo largo del año, hay un leve aumento durante los meses de alta precipitación, lo cual refuerza la necesidad de estrategias preventivas durante estos períodos.

El Cuadro 3 proporciona una comparación anual de los siniestros viales ocurridos en meses con precipitación notable. Este cuadro es fundamental para evaluar el impacto directo de las lluvias en la seguridad vial, mostrando un patrón consistente de incremento de incidentes durante los meses húmedos.

Cuadro 3. Siniestros viales en meses con precipitación durante 2019 a 2022.

| | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|
| Enero | 21 | 31 | 33 | 31 |
| Febrero | 29 | 34 | 23 | 45 |
| Marzo | 20 | 23 | 45 | 36 |
| Abril | 29 | 12 | 28 | 29 |
| Mayo | N/C | 19 | 30 | 44 |
| Junio | 17 | 7 | 32 | 41 |
| Julio | 24 | 15 | 57 | 37 |
| Agosto | 26 | 13 | 55 | 50 |
| Septiembre | 28 | 25 | 62 | 53 |
| Octubre | 38 | 22 | 74 | 37 |
| Noviembre | 33 | 33 | 60 | 53 |
| Diciembre | 35 | 47 | 62 | 43 |
| TOTAL | 300 | 281 | 561 | 499 |

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2024.

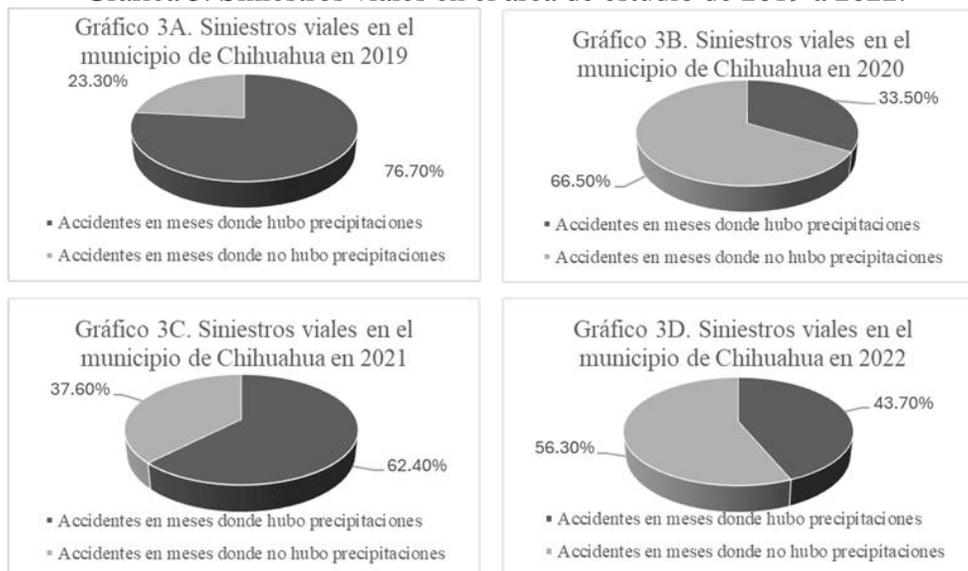
Donde, los números en rojo representan los accidentes automovilísticos en los meses donde hubo precipitación.; y los números en negro representan los accidentes automovilísticos en los meses donde no hubo precipitación.

A simple vista se puede identificar que gran parte de los siniestros viales anuales ocurren en los meses que existen precipitaciones, sin embargo, es importante conocer con exactitud en que porcentaje se presentan estos datos para conocer si existe una correlación entre ellos, las siguientes graficas explican cómo influye este fenómeno. Estos gráficos desglosan los siniestros viales por año, destacando la proporción de accidentes ocurridos en días con lluvia respecto al total anual. El aumento en los accidentes durante los días lluviosos es evidente y alarmante, especialmente en los años 2021 y 2022, subrayando la necesidad de intervenciones específicas para estos períodos.

En el año de 2019 tres cuartas partes de los siniestros viales sucedieron durante los meses en los que existían precipitaciones, siendo un dato alarmante porque claramente demuestra que existió un problema que no se manejó adecuadamente durante ese año.

En 2020 a pesar de que hubo una disminución en los accidentes ocurridos en meses de precipitación en comparación al año de 2019 (Gráfico 3A), sigue siendo un numero alto ya que una tercera parte de los siniestros ocurridos a lo largo del año fueron en los meses que hubo lluvias, y si a esto se suma que existió una disminución en comparación al año anterior porque atravesó el fenómeno de la pandemia por COVID-19 en los meses que se registra un mayor número de lluvias, lo que género que el transito vial disminuyera.

Gráfica 3. Siniestros viales en el área de estudio de 2019 a 2022.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2024.

En 2021 hubo un aumento en los siniestros en comparación al año 2020 (Gráfico 3B), ya que en este año casi dos terceras partes de los accidentes registrados al año ocurrieron en los meses que se hubo precipitaciones, es un valor alto y preocupante debido a que esto representa que no se tomaron medidas adecuadas para disminuir este valor, sino que por el contrario, se duplico.

Por último, en el año de 2022, afortunadamente disminuyo el número de accidentes en los meses donde hubo precipitación en comparación al año anterior (Gráfico 3C), sigue siendo un valor

CORRELACIÓN ENTRE INUNDACIONES Y SINIESTROS VIALES: INFLUENCIA Y DETERMINACIÓN DE RESILIENCIA URBANA EN ZONA UACH CAMPUS II, CHIHUAHUA, MÉXICO

alto que refleja que existen ciertas carencias con el control de este fenómeno que hasta la actualidad no se han logrado solucionar.

Para tener mayor precisión con el análisis, se contabilizaron los accidentes automovilísticos ocurridos únicamente en los días en que hubo precipitaciones, arrojando los siguientes resultados.

Cuadro 4. Siniestros viales en días con precipitación durante 2019 a 2022.

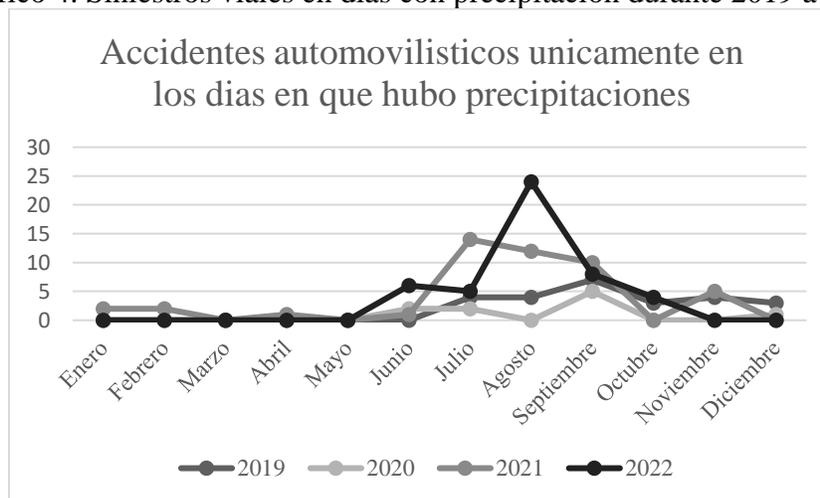
| Meses | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|-------------------|------|------|------|------|
| Enero | N/C | N/C | 2 | N/C |
| Febrero | N/C | N/C | 2 | N/C |
| Marzo | N/C | N/C | N/C | N/C |
| Abril | 0 | N/C | 1 | N/C |
| Mayo | N/C | N/C | N/C | N/C |
| Junio | 0 | 2 | 1 | 6 |
| Julio | 4 | 2 | 14 | 5 |
| Agosto | 4 | N/C | 12 | 24 |
| Septiembre | 7 | 5 | 10 | 8 |
| Octubre | 3 | N/C | N/C | 4 |
| Noviembre | 4 | N/C | 5 | N/C |
| Diciembre | 3 | 1 | N/C | N/C |

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2024.

Se puede observar que son datos preocupantes debido a que en su mayoría los días en los que hubo precipitaciones también hubo accidentes automovilísticos, es grave debido que el mes con más precipitaciones, es decir, agosto de 2022 (con solo 9 días de lluvia) refleja que los meses pasados hubo aún menos días de lluvia mensuales y aun así los siniestros estuvieron presentes en cada uno de ellos a excepción de abril y junio de 2019.

El (grafico 4) demuestra que existe un cierto aumento de los accidentes automovilísticos en los meses que existen más días con lluvia y la precipitación mensual en mm es mayor, es decir, en julio, agosto y septiembre.

Gráfico 4. Siniestros viales en días con precipitación durante 2019 a 2022.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2024.

Es relevante conocer cuáles fueron las causas que originaron los siniestros durante estos días con lluvia; los siguientes gráficos están enfocados en describir que existe una relación entre los accidentes automovilísticos registrados en estos días y el mal estado de la infraestructura vial.

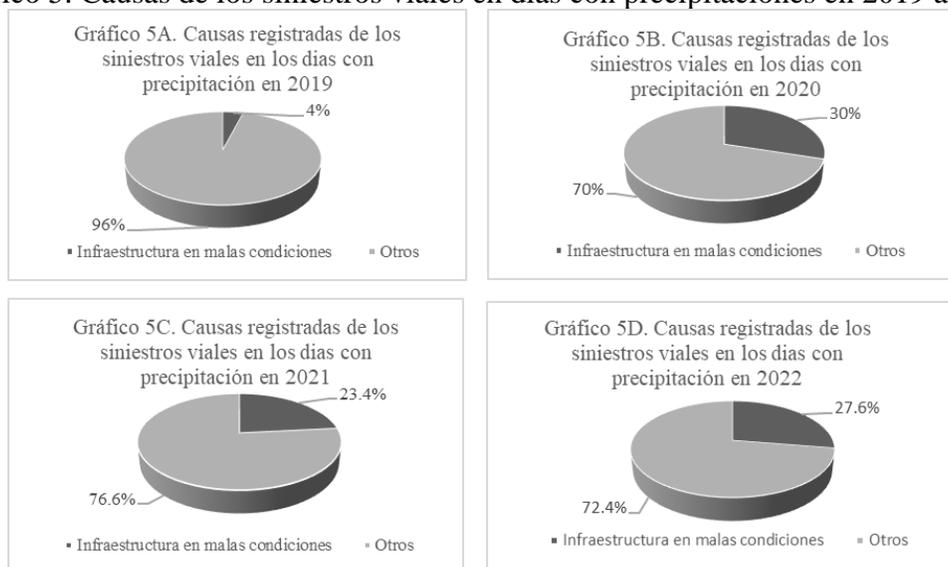
Para el año de 2019 fue muy bajo el índice de relación entre los accidentes automovilísticos y las condiciones de la infraestructura vial durante los días de lluvia, con tan solo un 4% representa que es un factor que si llega a influir, aun y cuando es un bajo porcentaje, no deja de ser una problemática latente.

En 2020 son aún alarmantes los resultados porque el porcentaje de accidentes automovilísticos causados por malas condiciones de la infraestructura vial aumento 8 veces su valor en comparación al año de 2019 (Gráfico 5A), ha sido un problema que tuvo un gran crecimiento en tan corto periodo de tiempo, donde posiblemente no se implementaron medidas para mitigar este fenómeno que refleja que 1 de cada 3 accidentes en días con lluvia es causado por una infraestructura en malas condiciones.

En el año de 2021 hubo una ligera disminución en el porcentaje de los accidentes en días con precipitaciones causados por la infraestructura vial en comparación al año anterior (Gráfico 5B), sin embargo, sigue siendo preocupante porque 1 de cada 4 siniestros ocurridos en estos días, se debe a problemas de infraestructura.

Por último, en el año de 2022 hubo otro aumento en el porcentaje que representa los accidentes en días con lluvia debido a la infraestructura, esto refleja que no se ha manejado de una manera adecuada y que existen zonas en el territorio que representan un peligro para los automovilistas porque tienden a inundarse o directamente la infraestructura en estos tramos sufre un gran desgaste y se convierte en un espacio de riesgo para los conductores.

Gráfico 5. Causas de los siniestros viales en días con precipitaciones en 2019 a 2022.



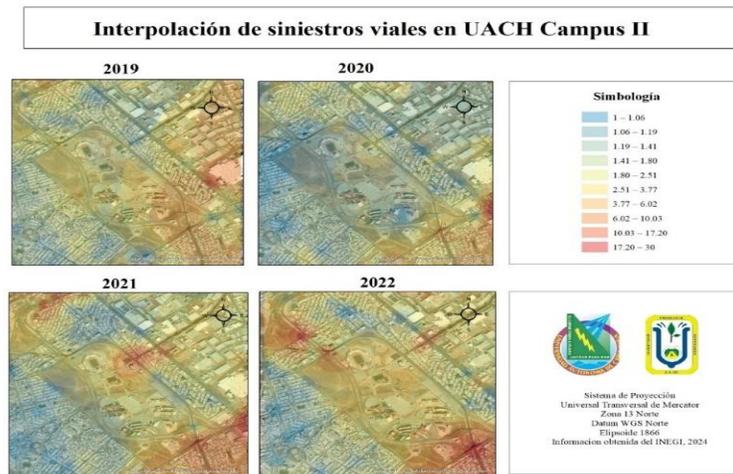
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2024.

La Figura 2 nos presenta cuatro mapas del año 2019 al 2022, en los cuales podemos visualizar el avance o comparación de los siniestros viales a lo largo de los años mencionados anteriormente. En 2019 tenemos presencia de siniestros viales con porcentajes bajos y se aprecia la disminución de los siniestros en el año 2020, año en el que ocurre la pandemia a causa del

CORRELACIÓN ENTRE INUNDACIONES Y SINIESTROS VIALES: INFLUENCIA Y DETERMINACIÓN DE RESILIENCIA URBANA EN ZONA UACH CAMPUS II, CHIHUAHUA, MÉXICO

COVID-19, a partir de ese año es muy evidente el aumento, principalmente en intersecciones viales que circundan alrededor del campus universitario.

Figura 2. Zonas con mayor vulnerabilidad en el área de estudio entre 2019 y 2022.



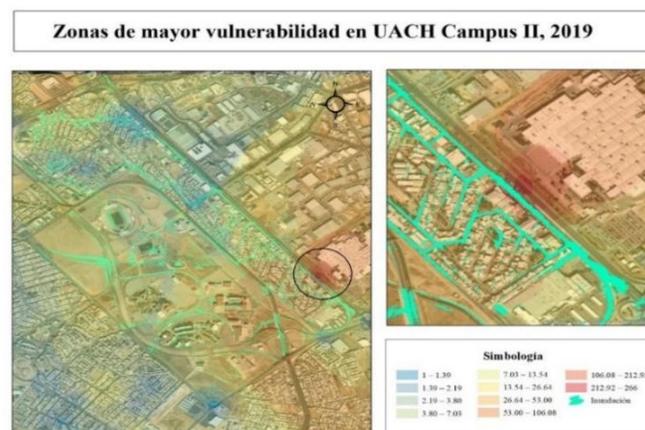
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2024.

Discusión

Los resultados del análisis destacan la necesidad de mejorar la infraestructura vial para manejar eficazmente las precipitaciones intensas. Estudios anteriores han demostrado que una infraestructura adecuadamente diseñada puede mitigar significativamente los efectos de las inundaciones urbanas (Willems et al., 2012). Este estudio sugiere la implementación de sistemas de drenaje mejorados y el uso de materiales de pavimentación más permeables en Chihuahua.

La Figura 3 muestra la interpolación de los datos de accidentes automovilísticos dentro del área de estudio que se ve representado en un mapa de calor, este indica la frecuencia con la que suceden estos accidentes. Analizando las áreas, se pueden identificar dos puntos de interés donde la frecuencia de accidentes es muy alta en los cuatro años analizados y que serán explicados y presentados en los siguientes mapas.

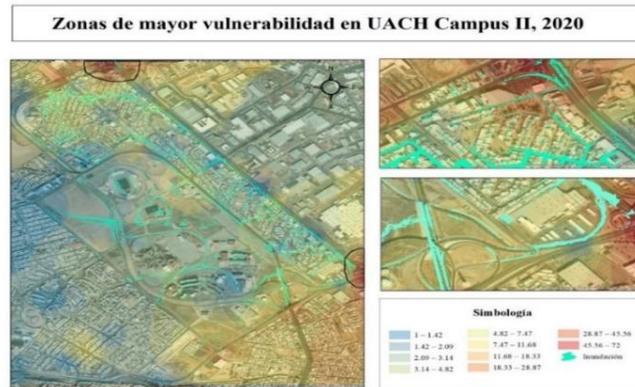
Figura 3. Zonas con mayor vulnerabilidad en el área de estudio en 2019.



Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2024, Eréndira Tiscareño, UACH 2024 y CONAGUA, 2024.

La Figura 4 presentada muestra ahora 2 mapas específicos del año 2019, donde se tiene un acercamiento a la zona con más conflicto por siniestros viales, lo que se puede apreciar en un color azul aqua nos representa las inundaciones en vialidades. Se observa que la zona de conflicto presenta un nivel alto de inundación y si observamos los gráficos anteriores se hace mención que el 4% de los siniestros viales en días con lluvia fueron ocasionados por una mala infraestructura (Grafico 5A).

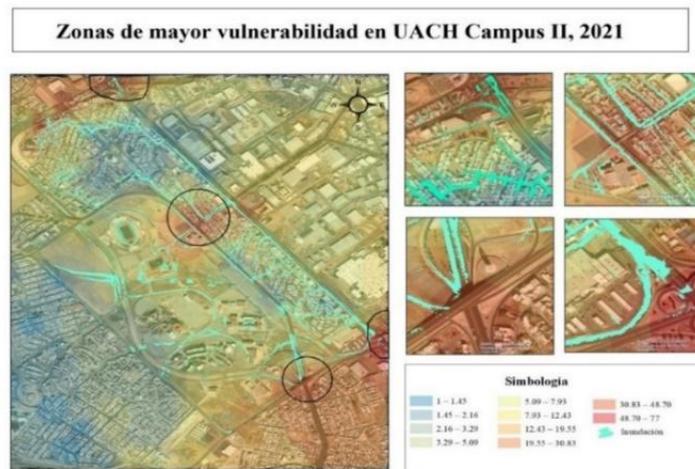
Figura 4. Zonas con mayor vulnerabilidad en el área de estudio en 2020.



Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2024, Eréndira Tiscareño, UACH 2024 y CONAGUA, 2024.

Para el año 2020 se observa una disminución muy significativa en el área de estudio, esto ocasionado por la pandemia que ocurre en el año mencionado (Figura 5). En este año ocurre un cambio con las zonas de conflicto, donde el año pasado era la zona con mayor incidencia, este año se muestra con los valores más bajos esto podría indicar que si existía alguna problemática vial o de infraestructura este pudo haber sido resuelto. En 2020 tenemos dos áreas de conflicto las cuales se encuentran en 2 intersecciones de vialidades que funcionan como conexión para llegar o salir a vías que conectan al campus universitario.

Figura 5. Zonas con mayor vulnerabilidad en el área de estudio en 2021.



Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2024, Eréndira Tiscareño, UACH 2024 y CONAGUA, 2024.

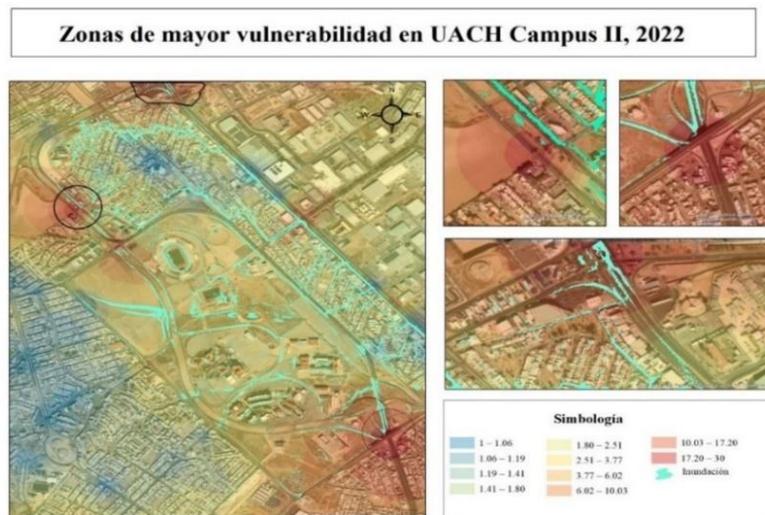
CORRELACIÓN ENTRE INUNDACIONES Y SINIESTROS VIALES: INFLUENCIA Y DETERMINACIÓN DE RESILIENCIA URBANA EN ZONA UACH CAMPUS II, CHIHUAHUA, MÉXICO

En 2021 en cuanto a números es muy similar al año anterior, pero se repiten en más casos, si se observa en este año contamos con el doble de zonas de conflictos, los 4 mapas con acercamientos nos muestran a detalle las zonas de conflicto, las cuales cuentan con una fuerte problemática por inundación siendo la intersección entre Av. Tecnológico y Av. Homero la que más problema por inundación cuenta. Tal como se muestra en la sección de resultados en 2021 el 23.4% de los siniestros viales fueron ocasionados por problemas en la infraestructura vial (Gráfico 5C), estos datos también indican el aumento de los daños a la infraestructura que podrían estar causando las inundaciones pluviales ya que desde 2019 hubo un aumento del casi 20% en siniestros viales a causa de la infraestructura.

Por último, en el año 2022 hubo una disminución en las zonas de conflicto que pasaron de ser cuatro a solo tres, aunque cabe mencionar que la zona que se encuentra en el área inferior derecha siendo la intersección entre Periférico de la Juventud y Av. Homero el radio de influencia aumento en comparación a años anteriores, también en este año aparece una nueva zona de conflicto ubicada en Av. Circuito Universitario misma que se encuentran en la parte izquierda superior, que si bien no sufre de la misma cantidad de inundación que otras zonas la poca que se genera en ese espacio podría estar dando problemas o haber causado un daño a la infraestructura que haya provocado el aumento de siniestros viales en la zona específica (Núñez, 2016)

Como se visualiza en la interpolación realizada en cada mapa esta resalta la zona con un color rojo por la alta cantidad de siniestros viales, como primer punto se debe resaltar que las vialidades dentro nuestra área de estudio son de alta velocidad y la zona de desaceleración para salir de las vialidades llega a ser pequeña genera que aumente el porcentaje de ocasionar un siniestro, también se debe tomar en cuenta que algunas de las entradas y salidas se encuentran con curvas de más de 90 grados y pendientes positivas y negativas, lo cual hace que se deba transitar con más precaución, viendo esto con las inundaciones que se generan en el área, se vuelve una zona vulnerable para para tránsito (Perches, 2010).

Figura 6. Zonas con mayor vulnerabilidad en el área de estudio en 2022.



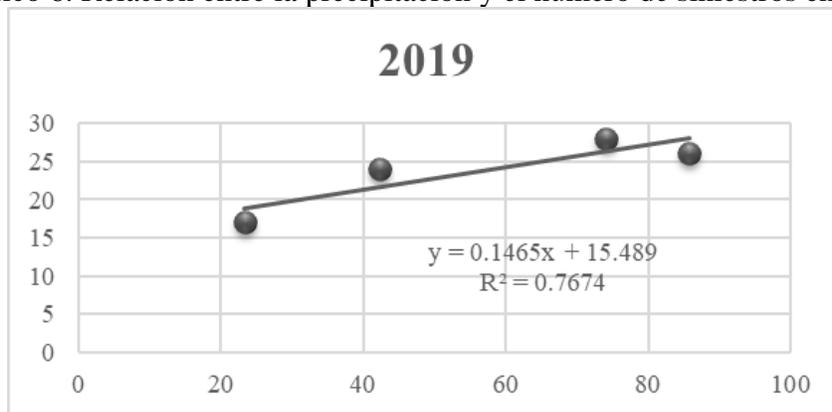
Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2024, Eréndira Tiscareño, UACH 2024 y CONAGUA, 2024.

Lo particular en las zonas con más porcentaje de choques es que son intersecciones donde se tienen que tomar entradas o salidas a vías principales, esto nos podría decir que la infraestructura en la zona puede estar teniendo complicaciones al momento de transitar las zonas específicas. Tan solo en el 2020 se menciona que el 30% de los choques en días con precipitación fueron ocasionados por mala condición de la infraestructura (Grafico 5B). Desde 2019 hasta el año 2022 los gráficos mostraron que hubo un aumento en los choques con días con precipitación a causa de la calidad de infraestructura siendo 2019 el año con un porcentaje más bajo siendo 4% y 2020 con el más alto siendo este el 30% los demás años tuvieron una media del 25.5%.

Esto dice que desde el aumento en el 2020 no hubo una mejora significativa en la infraestructura y que las precipitaciones pluviales en esas zonas en específico la siguen dañando. Por lo general, se supone que las inundaciones urbanas producidas por tormentas se deben a una falta de capacidad del sistema de alcantarillado o a un mal funcionamiento del sistema de drenaje urbano (Gómez, 2009). La siguiente grafica para el año 2019 muestra una relación entre la precipitación y el número de siniestros, la pendiente indica que, por cada unidad incrementada en la precipitación, los siniestros viales aumentan en promedio 0.1465 unidades. Indicando que a medida que aumenta la precipitación también aumenta la probabilidad de ocurrencia de accidentes viales.

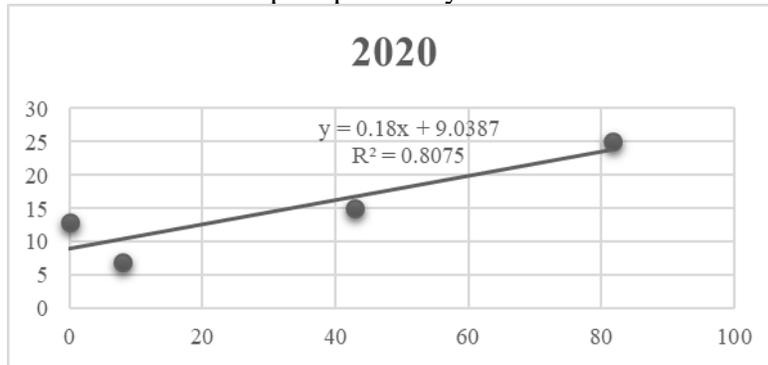
Aproximadamente que el 76.74% de la variabilidad en el número de siniestros viales puede ser explicada por las variaciones en la cantidad de precipitación. Esto es un índice muy alto lo que sugiere que la precipitación es un predictor significativo de los siniestros viales en 2019 (Grafico 6). En 2020 (Grafico 7), la pendiente de la gráfica muestra que cada unidad incrementada en la precipitación resulta en un aumento promedio de 0.118 unidades en los siniestros viales. Esto sugiere una relación positiva entre la precipitación y los siniestros viales, aunque la relación es ligeramente menos fuerte que en 2019. El intercepto es de 9.0387, indicando un numero base relativamente alto. El R2 demuestra que alrededor el 80.75% de la variabilidad de los siniestros viales se atribuyen a la precipitación, lo que confirma que sigue siendo un factor crucial en la incidencia de siniestros.

Gráfico 6. Relación entre la precipitación y el número de siniestros en 2019



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2024.

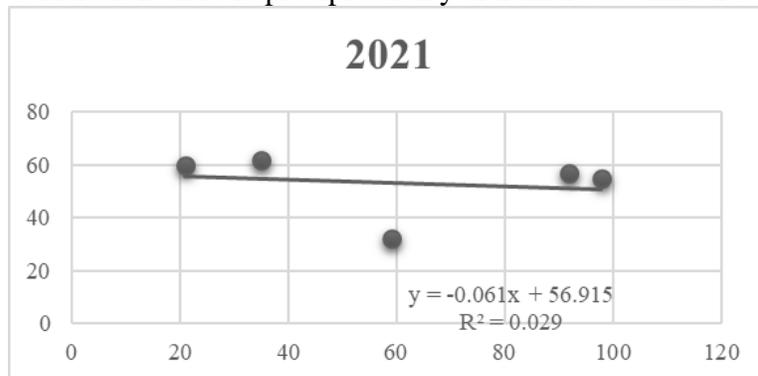
Gráfico 7. Relación entre la precipitación y el número de siniestros en 2020.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2024.

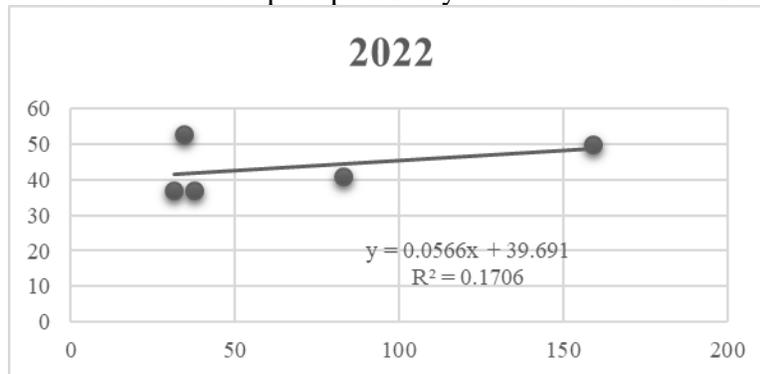
Para 2021, el Gráfico 8 muestra una pendiente negativa de -0.061, indicando una asociación inversa entre precipitación y siniestros viales, lo que es atípico y sugiere la influencia de otros factores mitigadores. El intercepto alto de 56.915 indica que otros factores están influyendo en los siniestros viales más que la precipitación. Dado a que R2 solo es 0.029, indica que la precipitación explica muy poco la variabilidad en los siniestros viales en 2021

Gráfico 8. Relación entre la precipitación y el número de siniestros en 2021.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2024.

Gráfico 9. Relación entre la precipitación y el número de siniestros en 2022.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2024.

En 2022, la pendiente es de 0.0566 lo que indica un incremento promedio de 0.0056 unidades en los siniestros viales por cada unidad de aumento de precipitación. Esto muestra una correlación positiva, aunque más débil en comparación con 2019 y 2020. El intercepto de 39.691 implica un número considerable de siniestros viales esperados en lluvia. El R^2 sugiere que solo el 17.06% de la variabilidad en los siniestros viales puede ser atribuida a la precipitación, lo que implica la importancia de otros factores en la incidencia de siniestros viales.

La serie de análisis anuales de 2019 a 2022 muestra variaciones significativas en como la precipitación influye en los siniestros viales. Mientras que en 2019 y 2020, se observa una correlación positiva clara entre la precipitación y los siniestros viales, sugiriendo que un aumento en la precipitación conduce a un incremento en los accidentes, 2021 muestra una anomalía con una correlación negativa y un bajo R^2 , indicando que otros factores tuvieron un impacto mayor en los siniestros viales que la precipitación misma. En 2022, la relación se estabiliza, aunque débilmente positiva, en el mismo caso que en el 2021 presenta un bajo R^2 que apunta a la influencia de mas factores adicionales que el de la lluvia. En general estos análisis resaltan que, aunque la precipitación es un factor influyente en los siniestros viales, su impacto varia año con año dependiendo de una variedad de factores como cambios en la infraestructura vial, políticas de tráfico, y comportamientos de conducción. Esta variabilidad subraya la necesidad de adaptar continuamente las estrategias de seguridad vial para responder no solo a las condiciones meteorológicas, sino también a los cambios en el entorno urbano y las prácticas de los conductores.

Ahora con esta información nace la idea de recrear un semáforo pluvial para generar conciencia sobre las precipitaciones y prevenir posibles inundaciones, algo que ya se encuentra en funcionamiento en el municipio de San Pedro Garza García en Nuevo León. ¿Pero que es un semáforo pluvial?, en pocas palabras es un sistema de señalización para informar a la población sobre el estado de precipitación y las posibles inundaciones, funciona de manera similar a un semáforo de tráfico, solo que esta alerta sobre la condición climática de una zona específica.

Una vez identificada un área crítica o propensa a inundación, en este caso el área de estudio que trabajamos, se buscarían puntos estratégicos para colocar estos semáforos en un lugar visible y seguro para los conductores o peatones utilizando los colores respectivos de un semáforo, verde para una zona libre de lluvia o lluvia ligera, amarillo para una lluvia moderada y rojo para una lluvia intensa con riesgo de inundación. El uso de tecnologías como sensores y datos en tiempo real son indispensables para esto, es por eso que se deberían contar con instalaciones de sensores meteorológicos o utilizar datos de estaciones meteorológicas cercanas para poder determinar los niveles de precipitación, pero el instrumento más adecuado sería la instalación de los sensores con conexión directa a los semáforos para que este se encuentre actualizando automáticamente según las condiciones climáticas de la zona específica, volviéndolo más exacto y preciso. (PREDES)

Para un uso adecuado de este semáforo pluvial, se tendrían que realizar campañas de concienciación, distribución de folletos o el uso de las redes sociales para difundir su propósito, como interpretarlo y cuál es su función dentro de la infraestructura vial. Es importante trabajar con las debidas autoridades para garantizar el correcto funcionamiento e implementación de este tipo de sistemas de alerta temprana. La implementación de un semáforo pluvial no solo crearía conciencia, sino también contribuiría a la seguridad de la población y a la prevención de daños.

Conclusiones

Este estudio resalta la crítica necesidad de integrar las consideraciones climáticas en la estrategia de desarrollo regional de Chihuahua. A través de un enfoque integrado que combina la mejora de infraestructuras resilientes con programas de educación sobre la conducción segura, podemos no solo incrementar la seguridad vial durante eventos climáticos extremos sino también fomentar un crecimiento sostenible y equitativo en toda la región. Es imperativo que el desarrollo urbano de Chihuahua trascienda el simple crecimiento físico y aborde las complejidades del cambio climático y la resiliencia urbana de manera proactiva.

La ubicación de Chihuahua en una zona propensa a extremos climáticos requiere una planificación que vaya más allá de la respuesta a crisis; necesita una visión a largo plazo que integre la gestión del agua y la seguridad vial en un marco de desarrollo urbano coherente y sostenible. Los datos de este estudio indican que hasta el 50% de los accidentes de tráfico durante períodos de precipitación podrían mitigarse con infraestructura adecuada y estrategias preventivas. Esto subraya la importancia de un enfoque regional que no solo resuelva los problemas actuales, sino que también prepare a la ciudad para futuros desafíos.

En conclusión, se recomienda que Chihuahua adopte un enfoque de planificación más holístico, donde la infraestructura resiliente y la educación vial se conviertan en pilares de un desarrollo urbano que promueva la equidad, la sostenibilidad y la calidad de vida. Es esencial que las políticas públicas y las inversiones en infraestructura reflejen un compromiso con un desarrollo regional que sea seguro, resistente y adaptativo a las condiciones climáticas cambiantes. Solo a través de un compromiso con la planificación y la inversión estratégica, Chihuahua podrá transformarse en un modelo de desarrollo urbano sostenible en el norte de México.

Agradecimientos

Al Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua, al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y a la Comisión Nacional del agua por el acceso a la información y demás recursos proporcionados.

Referencias literarias

- Campos-Aranda.** (2010) "Intensidades máximas de lluvia para diseño hidrológico urbano en la República Mexicana", *Ingeniería, investigación y tecnología*, 11(2), pp. 179-188.
- CAF** (2018) "Movilidad sostenible y seguridad vial", *Banco de Desarrollo de América Latina*. Disponible en: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2018/08/movilidad-sostenible-y-seguridad-vial/>
- Centro de Estudios y Prevención de Desastres,** (2020). Medidas de Preparación y Respuestas Ante Lluvias Intensas [en línea]. PREDES. [Consultado el 25 de julio de 2024]. Disponible en: <https://predes.org.pe/medidas-frente-a-lluvias-intensas/>
- CONAGUA,** 2024. "Resúmenes mensuales de temperatura y lluvia 2019-2022".
- Contreras y Fantín.** (2015) "El riesgo de la población a inundaciones por lluvias como consecuencia de la dinámica de expansión urbana sobre paisajes anegadizos. El caso de la ciudad de Corrientes (Argentina)", *Folia Histórica del Nordeste*, (23), pp. 97-112.

- Cruz Moreta.** (2024) "Plan de seguridad vial para la prevención de siniestros de tránsito en el cantón Daule".
- de México.** (2020) "Movilidad 4s para México: Saludable, segura, sustentable y solidaria. Plan de movilidad para una nueva normalidad".
- Dirección General de Tráfico** (2022) "Las principales cifras de la siniestralidad vial España 2022".
- Fernández.** (2004) "Drenaje de aguas lluvias urbanas en zonas semiáridas", *Arq (Santiago)*, (57), pp. 64-67.
- Gamboa.** (2017) "Influencia del agua en el desempeño de los pavimentos: lluvia ácida", *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 5(2), pp. 190-206.
- GNP Seguros,** 2023. A manejar con precaución esta temporada de lluvias. Disponible en: <https://www.gnp.com.mx/noticias/precaucion-lluvias>
- Gómez-Valentín, Macchione y Russo.** (2009) "Comportamiento hidráulico de las calles durante lluvias extremas en zonas urbanas", *Ingeniería hidráulica en México*, 24(3).
- INEGI** (2020) *DENUE*. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx> .
- Jose, F y Eduardo, R.** (2018) Integración y desarrollo sobre la consultoría cesvide México para el desarrollo. CERTIFICACIÓN CMX2009".
- Núñez López, Muñoz Robles, Reyes Gómez, Velasco y Gadsden Esparza.** (2007) "Caracterización de la sequía a diversas escalas de tiempo en Chihuahua, México", *Agrociencia*, 41(3), pp. 253-262.
- Núñez y Joaquín.** (2016) "Estimación de la distribución de probabilidad de la reducción de capacidad vial incorporando efectos de lluvia".
- Organización Mundial de la Salud** (2013) *Seguridad Peatonal, Manual de Seguridad vial para instancias decisorias y profesionales*. Ginebra: Avenue Appia 20.
- Palazuelo Sánchez** (2023). "Plan integrado de movilidad segura".
- Paredes, Ocampo, Foix, Olazábal, Valle y Allard.** (2020) "Precipitaciones extremas e inundaciones repentinas en ambiente semiárido: impactos del evento de marzo-abril de 2017 en Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina".
- Perches González.** (2010) "Factores de riesgo para la ocurrencia de accidentes de tráfico con lesionados en la ciudad de Chihuahua".
- Sanfandila y Escobedo.** (2018) *PLAN DE CULTURA INSTITUCIONAL 2013-2018*. INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE.
- Sánchez, Valenzuela y Marcos.** "TENDENCIA DE ACCIDENTES VIALES EN MÉXICO".
- Andrade-Ochoa. (2020) *Zoon Peaton*.
- Zambrano, Banchon y Pilay.** (2023) "Análisis de la característica de seguridad vial de la cabecera parroquial de Alluriquín".